Postverlagsort Würzburg 2

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

BEGRÜNDET VON A. BERLINER UND C. THESING

UNTER BESONDERER MITWIRKUNG VON
ERICH v. HOLST

HERAUSGEGEBEN VON
ERNST LAMLA

BEIRAT:
J. BARTELS · E. BEDERKE · H. BROCKMANN · P. TEN BRUGGENCATE · C. W. CORRENS · H. J. DEUTICKE
H. v. FICKER · R. GRAMMEL · O. HAHN · R. HARDER · M. HARTMANN · W. HEISENBERG · A. KÜHN
M. v. LAUE · H. MARTIUS · R. W. POHL

ORGAN DER MAX-PLANCK-GESELLSCHAFT ZUR FÖRDERUNG DER WISSENSCHAFTEN
ORGAN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

44. JAHRGANG **HEFT 6** (ZWEITES MÄRZHEFT) **1957**

INHALT

AUFSÄTZE Seite

Vorträge auf der Tagung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte in Hamburg.

Die Astronomie in der Geistesgeschichte der Neuzeit. Von O. HECKMANN 125

Isotope, ihre Herstellung und Messung. Von W. WALCHER . . 132

Diskussionsbemerkung zu dem Vortrag von W. WALCHER. Von F. A. PANETH 145

Energieerzeugung und Entwicklung der Sterne. Von A. UNSÖLD 145

Radioaktivität und Alter der Erde. Von F. HOUTERMANS . . 157

Geologische und archäologische Datierungen mit C^{14}. Von O. HAXEL 163

Isotope in der organischen Chemie. Von F. WEYGAND 169

KURZE ORIGINALMITTEILUNGEN

Die erdmagnetische Wirkung der nördlichen und der südlichen Sonnenhalbkugel. Von W. GLEISSBERG 176

Einfluß der Einspannlänge auf die Tiefe der Gleitstufen. Von H. R. BACHMANN und F. X. EDER 177

Eine Methode zum Sichtbarmachen von Beschädigungen an Kautschukoberflächen. Von H. LAGONI und D. MERTEN . 177

Seite

Ein weiterer neuer Kettentyp in der Kristallstruktur des Pyroxmangits $[(Fe, Mn, Ca, Mg)\,SiO_3]_x$. Von F. LIEBAU 178

Die Raman-Spektren des Peroxydisulfat- und des Peroxydiphosphatanions. Von A. SIMON und H. RICHTER 178

Über die Kristallstrukturen komplexer Fluoride des Niobs und Tantals. Von H. BODE und H. v. DÖHREN 179

Die Wasserstoffperoxyd-Bildung durch Ultraschall in wäßrigen Lösungen von Gemischen des Wasserstoffs mit Argon und mit Sauerstoff. Von A. HENGLEIN 179

Über Mechanismus und Verlauf der Entwässerung von Hydrargillit und Bayerit. Von O. GLEMSER und G. RIECK 180

Kinetics of the Oxidation of Thiocyanate by Hydrogen Peroxide. Von B. R. SANT 180

Zur Bestimmung der Sorbinsäure und ihrer Salze. Von W. DIEMAIR, K. FRANZEN und A. SIEGLITZ 180

Hydrophobisation von Chromatographie-Papier mit Silonit. Von E. KOVÁCS 181

(Fortsetzung des Inhaltsverzeichnisses auf der 2. Umschlagseite)

Soeben erschien:

Ergebnisse der Physiologie, biologischen Chemie und experimentellen Pharmakologie

Herausgegeben von **O. Krayer**, Boston, **E. Lehnartz**, Münster i. Westf., **A. v. Muralt**, Bern, **H. H. Weber**, Heidelberg.

Neunundvierzigster Band:
Mit 75 Abbildungen und 3 Porträts. III, 512 Seiten Gr.-8°. 1957. DM 98.—

Inhaltsübersicht: **Albrecht Bethe †.** Von E. Fischer-Richmond/Virginia (USA). — **Rudolf Höber †.** Von W. Wilbrandt-Bern (Schweiz) **Klothilde Gollwitzer-Meier 1894—1954.** Von K. Kramer-Göttingen. — **Wasserdurchlässigkeit und Permeabilität der Capillarwände.** Von E. M. Renkin-Bethesda/Md. (USA), und J. R. Pappenheimer-Boston (USA). — **The Pituitary Growth Hormone and Metabolic Processes.** By B. Ketterer, P. J. Randle and F. G. Young-Cambridge (England). — **A Survey of the Energy Transformations in Living Matter.** By H. A. Krebs und H. L. Kornberg-Oxford (England). — **With an Appendix** by K. Burton-Oxford (England). — **The Biosynthesis of Porphyrins.** By D. Shemin-New York (USA). — **Das Coenzym A und seine biologischen Funktionen.** Von F. Lynen und K. Decker-München. — **The Relationship between Structure and Biological Activity.** By A. Albert-Canberra (Australien). — **Namenverzeichnis. Sachverzeichnis.**

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

Begründet 1913 von *A. Berliner* und *C. Thesing*. 1934/35 herausgegeben von *H. Matthée*, 1936—1944 herausgegeben von *F. Süffert*, 1945—1949 herausgegeben von *A. Eucken*.

Beilage: „Mitteilungen der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte".

Bildet die Fortsetzung der „Naturwissenschaftlichen Rundschau", begründet 1886 und bis 1912 (Jahrgang 27) herausgegeben von *J. Bernstein, V. Meyer, B. Schwalbe, W. Sklarek* u. a. Braunschweig, F. Vieweg & Sohn.

Organ der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte und Organ der Max-Planck-Gesellschaft zur Förderung der Wissenschaften (bis 1948 Organ der Kaiser-Wilhelm-Gesellschaft).

Die **„Naturwissenschaften"** erscheinen zweimal monatlich. Bestellungen nehmen jede Buchhandlung und jedes Postamt entgegen. Preis vierteljährlich 15.— DM, für das einzelne Heft 3.— DM, zuzüglich Postgebühren. Die Mitglieder der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte erhalten die Zeitschrift im Abonnement mit einem Nachlaß von 20%. Für Studierende der Naturwissenschaften ermäßigt sich der Bezugspreis auf vierteljährlich 11.25 DM zuzüglich Zustellgebühren. Lieferung läuft weiter, wenn nicht vier Wochen vor Quartalschluß abbestellt wird. Der Bezugspreis ist im voraus zahlbar.

Nachdruck: Es wird ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, daß mit der Annahme des Manuskripts und seiner Veröffentlichung durch den Verlag das ausschließliche Verlagsrecht für alle Sprachen und Länder an den Verlag übergeht. Grundsätzlich dürfen nur Arbeiten eingereicht werden, die vorher weder im Inland noch im Ausland veröffentlicht worden sind und die auch nachträglich nicht anderweitig zu veröffentlichen der Autor sich verpflichtet.

Es ist ferner ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages nicht gestattet, photographische Vervielfältigungen, Mikrofilme, Mikrophote u. ä. von den Zeitschriftenheften, von einzelnen Beiträgen oder von Teilen daraus herzustellen.

Sonderdrucke: Den Verfassern von Originalbeiträgen und Kurzen Originalmitteilungen stehen 75 Exemplare kostenfrei zur Verfügung.

Anschrift der Redaktion:
(20b) Göttingen, Jennerstr. 21, Tel. 59717

Anzeigen werden von der Anzeigenabteilung des Verlages (Berlin W 35, Reichpietschufer 20 [Britischer Sektor], Tel. 249251) angenommen. Die Preise wolle man unter Angabe der Größe und des Platzes erfragen.

Springer-Verlag
Berlin • Göttingen • Heidelberg

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in dieser Zeitschrift berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinn der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Fortsetzung des Inhaltsverzeichnisses von der 1. Umschlagseite

Seite

Über einige neue siliciumorganische Verbindungen. Von F. Nerdel und G. Kannebley 181

Chelate von Diarylborsäuren mit aliphatischen Oxyalkylaminen als Reagenzien für den Nachweis von Oxyphenyl-benzo-γ-pyronen. Von R. Neu 181

Beobachtungen über die Reaktion zwischen Oxytetracyclin und Methyljodid. Von M. Bodánszky, E. Weisz und L. Szabó 182

Von den „Aktivatoren" der Kohlensäurehydratase (KA). Von M. Leiner 182

Effect of X-rays on the Content of Tree Amino Acids and Amides of Cicer Arietinum T 87 Seedlings. Von Govindjee . . . 183

Über petrolätherlösliche Bestandteile des getrockneten Rhizoms von Apocynum cannabinum. Von C. H. Trabert 183

Zusammenhänge zwischen Nebennierenfunktionen und Thyroxinwirkung. Von J. Schole und F. Funk 183

Über das Vorkommen beträchtlicher Mengen Histamin in der niederen Tierwelt. Von D. Ackermann und P. H. List . . 184

Über den Einfluß verschiedener Polyphosphate auf den Kupferstoffwechsel der Ratte. Von K. Schreier, W. Kretz und R. Yang 184

Seite

Über die Leukämiehäufigkeit bei Mäusen nach Infektion von Normalgewebsfiltraten. Von Ferd. Schmidt und K. Lohmann 185

Corynebacterium valdivianum n. sp., eine in Südchile außerordentlich verbreitete Art. Von J. Grinbergs 185

Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Verteilung feulgenpositiver Substanz in Proteus vulgaris. Von H.-J. Preusser, F. W. Schlote und A. Rippel-Baldes 186

Ein einfaches Verfahren zur Darstellung der Feuchtigkeitssinnesorgane von Fliegenlarven. Von W. Peters 187

Über die Struktur der Eihüllen bei einigen Knochenfischen. Von G. Sterba 187

BESPRECHUNGEN

F. H. Borgnis und Ch. H. Papas, Randwertprobleme der Mikrowellenphysik. (Ref.: O. Zinke) 188

Landolt-Börnstein, Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik. Bd. IV, 1. Teil. (Ref.: E. Siebel) 188

W. Yourgrau und St. Mandelstam: Variational Principles in Dynamics and Quantum Theory. (Ref.: M. von Laue) 188

Bei der **Universitätsbibliothek Saarbrücken** ist eine

Planstelle A 2 c 2

(wissenschaftlicher Bibliotheksdienst)

mit der Fachrichtung Naturwissenschaft zu besetzen. Bewerbungen mit handgeschriebenem Lebenslauf, Lichtbild, Abschriften der Ausbildungs- und Stellenzeugnisse werden **bis 20. 4. 1957** an die Universität des Saarlandes, Saarbrücken 15 erbeten.

Soeben erschien:

Die Entstehung der Kulturpflanzen

Von Professor Dr. **Franz Schwanitz**
Staatsinstitut für angewandte Botanik, Hamburg
1.—6. Tausend
(Verständliche Wissenschaft, Band 63.)
Mit 59 Abbildungen. V, 151 Seiten Kl.-8°.
Ganzleinen DM 7.80.

Springer-Verlag/Berlin·Göttingen·Heidelberg

DIE NATURWISSENSCHAFTEN

44. Jahrgang Heft 6 (Zweites Märzheft) 1957

Die Astronomie in der Geistesgeschichte der Neuzeit

Von O. HECKMANN, Hamburg*)

I.

1. Die Geschichte der sog. Neuzeit hat keinen genauen Anfang. Renaissance, Humanismus, Zeitalter der Entdeckungen, Kopernikanische Wende sind Schlagworte, die in Ihnen allen das Bild des turbulenten Übergangszeitalters erstehen lassen. Schon tief im Mittelalter sind die großen Bewegungen spürbar, in welchen das religiöse und kirchliche Bewußtsein, verbunden mit dem Nationalismus, sich — teilweise in großen Kriegen — auseinandersetzt mit den heraufdrängenden Kräften, dem Individualismus und dem veränderten Weltbewußtsein.

In den Materialien zur Geschichte der Farbenlehre findet sich bei GOETHE die folgende Stelle:

„Man sagt von dem menschlichen Herzen, es sei ein trotzig und verzagtes Wesen. Von dem menschlichen Geiste darf man wohl ähnliches prädizieren. Er ist ungeduldig und anmaßlich und zugleich unsicher und zaghaft. Er strebt nach Erfahrung und in ihr nach einer erweiterten, reinern Tätigkeit, und dann bebt er wieder davor zurück, und zwar nicht mit Unrecht. Wie er vorschreitet, fühlt er immer mehr, wie er bedingt sei; daß er verlieren müsse, indem er gewinnt: denn ans Wahre wie ans Falsche sind notwendige Bedingungen des Daseins gebunden.

Daher wehrt man sich im Wissenschaftlichen so lange als nur möglich für das Hergebrachte, und es entstehen heftige, langwierige Streitigkeiten, theoretische sowohl als praktische Retardationen. Hievon geben uns das 15. und 16. Jahrhundert die lebhaftesten Beispiele ..."

In dieser Zeit, in diesem wilden und nur schwer übersehbaren Tumult von Ideen und Mächten spielt die Astronomie eine höchst merkwürdige Rolle. Allerdings, sieht man die Astronomie ganz *empiristisch* an, dann ist bis zum Jahre 1600, als KEPLER zu TYCHO BRAHE nach Prag kam und GIORDANO BRUNO in Rom auf dem Scheiterhaufen starb, nichts geschehen, was das Bild der Welt überhaupt hätte beeinflussen können. Die *empirische* Astronomie war kaum weiter als zu den Zeiten des HIPPARCH im 2. Jahrhundert v. Chr. Das Neue, das sich in der Mitte des 15. Jahrhunderts anmeldete, lag in der Sphäre der Spekulation und der Phantasie. Neue *Gedanken* bewiesen ihre Kraft, und die europäischen Völker warteten geradezu darauf, sich von ihnen entzünden zu lassen. Wir können das Durcheinanderwogen der Ideen hier nicht ausführlich darstellen, sondern wollen — in starker Vereinfachung — wenige Hauptzüge des Bildes zeichnen.

2. Zwei prinzipiell verschiedene Konzeptionen des Weltalls sind aus der Blütezeit griechischer Philosophie auf uns gekommen: Für die ionischen Naturphilosophen war das Apeiron, das räumlich Unbegrenzte und zeitlich Unendliche, der Urgrund der Dinge, die aus ihm entstehen und in es vergehen in ewigem Wechsel. Für den bilderreichen PLATON aber und den nüchternen ARISTOTELES ist das Weltall eingeschlossen in die Fixsternsphäre, in deren Mitte die Erde steht. In ewigen Bahnen ziehen die jenseits der Mondsphäre liegenden Gestirne ihre vollkommenen Kreise. Wechsel und Veränderung gibt es nur in unserer sublunaren Welt. Außerhalb der Fixsternsphäre ist nicht der leere Raum, sondern schlechthin nichts.

In beiden Bildern ist der Raum der Ort *alles* Wirklichen, auch der Seele und der Ideen; der Geist behält Bindung an das Räumliche. Eine neue Lage wird vom christlichen Bewußtsein geschaffen. Es sieht die wahre Wirklichkeit nicht im räumlich Ausgebreiteten. „Gottnähe" und „Gottferne" sind bildhafte Redeweisen für ein geistig-unräumliches Eins- oder Getrenntsein, das im „Inneren", nicht im „Äußeren" statthat. Das christliche Bewußtsein schafft auch ein neues Zeitempfinden. Doch wollen wir davon noch nicht sprechen.

Im Mittelalter lassen die Philosophen und Theologen der Hochscholastik, etwa BONAVENTURA und THOMAS VON AQUIN, wieder die Kombination von geistigem Sein und räumlicher Erstreckung zu, veranschaulicht durch DANTEs großartiges Zeugnis der Divina Comedia. Die Mystiker aber erfahren den Urgrund des Seins im Innern der Seele.

All das ist zu einfach gesagt; die Zahl der Meinungen und Spekulationen ist groß, und die Übergänge sind vielfältig. Aber man darf doch kurz sagen, daß die Unendlichkeit der Welt in dieser Zeit *nicht* gelehrt wird, und daß die Welt der Innerlichkeit eine wichtige Rolle erhält, die das klassische Griechentum *nicht* kannte. — Die wissenschaftliche Astronomie wird in dieser Zeit verkörpert durch das System des PTOLEMÄUS, entstanden um 150 n. Chr. Seine Leistung bestand in einer ziemlich guten, aber — wie wir heute wissen — unnötig komplizierten Darstellung der scheinbaren Bewegungen von Sonne, Mond und Planeten, bei der die kugelförmige Erde das Zentrum des Alls ist.

3. Am Ausgang des Mittelalters, um die Mitte des 15. Jahrhunderts, kommt ein neuer Zug in die kosmologischen Vorstellungen durch die Werke des Kardinals und Bischofs NIKOLAUS VON CUES. Er vereinigt in sich die Weisen platonischen und aristotelischen Denkens. In Scholastik *und* Mystik ist seine geistige Heimat. Aus rein theologischen Spekulationen kommt er schon in seinem ersten Werke, der Docta Ignorantia, zu den berühmten Erkenntnissen, die er so ausdrückt: „Die Welt hat also keinen Umfang. Hätte sie eine Mitte, so hätte sie einen Umfang. Sie hätte dann in sich ihren Anfang und ihr Ende; und die Welt selbst wäre von etwas anderem begrenzt, außer ihr wäre anderes und Raum — das aber entbehrt jeder Wahrheit. Da es also unmöglich ist, die Welt zwischen einem körperhaften Zentrum und ihrem Umfang eingeschlossen zu denken, so ist die Welt nicht verstehbar. Und während diese Welt nicht *un*endlich ist, so ist sie doch nicht als endlich begreifbar, da sie der Grenzen entbehrt, die sie einschließen."

*) Rede des 1. Vorsitzenden bei Eröffnung der Tagung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte am 23. September 1956 in Hamburg.

Und weiter: „Die Erde also, da sie nicht Mitte sein kann, kann nicht ohne alle Bewegung sein ... Wie die Erde nicht Zentrum der Welt ist, so ist auch nicht die Fixsternsphäre oder eine andere deren Peripherie ..."

Die Argumentationsweise, die zu diesen bemerkenswerten Behauptungen führt, ist Jahrhunderte später eines der Vorbilder des dialektischen Denkens der romantischen Philosophie geworden. Die Coincidentia Oppositorum und die Docta Ignorantia, die sich beide auf das Denken der Unendlichkeitskategorien beziehen, sind die Begriffe, die schlagwortartig die Spannung im Denken des *Cusaners* bezeichnen. Das theologische Denken ist bei ihm die Wurzel der Behauptungen über die Welt. Ein Satz wie dieser: „Gott ist das Zentrum der Welt; er ist auch Mittelpunkt der Erde und aller Himmelskörper und von allem, was in der Welt ist; er ist zugleich die unendliche Peripherie von allem" könnte leicht pantheistisch interpretiert werden. Aber der Kardinal hat sich dagegen energisch gewehrt. Der Satz meint vielmehr — in unserer Sprache — einen ganz transzendenten Sachverhalt. Die Endlosigkeit der Welt ist von der Art der Endlosigkeit der Zahlenreihen, in der es keine größte Zahl gibt; die Unendlichkeit Gottes aber ist intensive Vollkommenheit. Die Endlosigkeit der Welt kann also nur als eine Analogie zur göttlichen Unendlichkeit verstanden werden.

Die Kosmologie des *Cusaners* fand zu seiner Zeit keine Resonanz. Mag sein, daß er im ganzen nicht verstanden wurde. Jedenfalls regte sich niemand sonderlich über ihn auf.

4. Das wesentliche astronomische Ereignis des 16. Jahrhunderts war das Erscheinen von KOPERNIKUS' Werk „De Revolutionibus", das sich in Gegensatz stellt zu PTOLEMÄUS. Es hält zwar die Fixsternsphäre als Grenze der Welt fest, setzt jedoch in ihre Mitte die Sonne und nicht die Erde, die nun mit den anderen Planeten die Sonne umkreist. Für sein System führt KOPERNIKUS Gründe der Einfachheit und Symmetrie an. Es ist aus einem wahrhaft pythagoreischen Glauben an die mathematische Schönheit der Welt erwachsen. Gründe, die unser heutiges Denken befriedigen, und gar empirische Beweise im modernen Sinne werden erst Jahrhunderte später gefunden. Im ganzen aber ist das Gesamtbild der Welt nach KOPERNIKUS noch dem ptolemäisch-mittelalterlichen zum Verwechseln ähnlich. Es ist für unser Empfinden harmlos gegenüber den über 100 Jahre älteren Vorstellungen des *Cusaners*, wenn es auch in seinen Einzelheiten eine spezifisch astronomische Leistung und keine metaphysische Spekulation ist. Über KOPERNIKUS gibt es zwar einige unfreundliche Äußerungen von Theologen, die eine Gefahr in der neuen Weltvorstellung witterten; aber im großen und ganzen hat die wissenschaftliche Öffentlichkeit rund 60 Jahre lang unbehelligt über die kopernikanische Lehre diskutieren können. Sie wurde um die Wende des 16. und 17. Jahrhunderts bereits sogar gelegentlich — wenn auch sehr vorsichtig — auf den Universitäten vorgetragen.

5. In den Stürmen des Zeitalters der Reformation und Gegenreformation stehen sich gegen Ende des 16. Jahrhunderts die großen Gegner mit gesteigertem Mißtrauen und eifersüchtiger Wachsamkeit gegenüber. Die Toleranz des 15. Jahrhunderts und der Humanismus sind weithin vergessen. Es ist nicht mehr ungefährlich, radikal und kühn zu denken.

Das zeigt sich in dem Drama, dessen tragische Hauptgestalt GIORDANO BRUNO ist. BRUNO — 1548 in Nola bei Capua geboren —, der unstet durch Europa wandernde Philosoph und Freigeist, vereinigte die cusanische Vorstellung der endlosen Welt mit der kopernikanischen von der die Sonne umkreisenden Erde und lehrte die unendliche Vielzahl der Sonnen. Man kann ihm in der Astronomie des Sonnensystems mancherlei Irrtümer nachweisen. Darauf kommt es hier nicht an. Die Unendlichkeit der Welt berauscht ihn. Mit maßloser Leidenschaft bekämpft er den ARISTOTELES. Er ist vor der größeren Öffentlichkeit der eigentliche Zertrümmerer der Sphäre, die die mittelalterlich-endliche Welt vom unendlichen Lichthimmel Gottes trennt. Er fordert die Allgültigkeit der irdischen Gesetze für alle Welten und die Gleichheit der kosmischen Stoffe. Er öffnet das Tor zum Ausblick in die unermeßliche, ununterschiedene Sternenwelt. Dabei war er konsequenter Pantheist, der die Bewegungen aller Welten aus den inneren Seelenkräften der Natur hervorgehen ließ.

GOETHE nennt ihn ein „Gedanken-Bergwerk", und seine Anregungen sind noch bei SCHELLING und anderen romantischen Naturphilosophen nachweisbar. Seine leidenschaftlich-freigeistige Haltung und der unbeugsame Mut, mit dem er 1600 den Feuertod für seine hartnäckige Ketzerei erlitt, machen ihn zu einer Gestalt von symbolischer Kraft und zu einem Märtyrer eines neuen Denkens. BRUNO ist es, der den Gefühlswert der neuen Lehre schafft durch sein Werk, sein Leben und sein Sterben.

6. Die Idee von der Unendlichkeit der Welt läuft nun durch die Zeiten bis in unsere Tage. Wir kommen darauf zurück.

Die großen Astronomen aus der Zeit BRUNOs, TYCHO BRAHE (1546 bis 1601) und JOHANNES KEPLER (1571 bis 1630), lehren die Endlichkeit der Welt. Der erste liefert das empirische Material und der zweite seine theoretische Analyse in den berühmten drei Gesetzen, die die spätere Entdeckung der allgemeinen Gravitation durch NEWTON erst möglich machen. KEPLERs Haltung kommt drastisch zum Ausdruck in einer späteren Randbemerkung zu einem Briefe aus dem Jahre 1603 des jungen Engländers EDMUND BRUCE, der KEPLER seine Ansichten über die Welt vorlegt und dabei einleitend seinen Glauben an die Unendlichkeit der Welt bekennt. KEPLER schreibt: „Hoc praeambulum obstitit mihi, quo minus essem attentus ad sequentia", „Diese Einleitung hat mich daran gehindert, auf das folgende zu achten".

GALILEI aber, dessen Lebenszeit von 1564 bis 1642 reicht, scheint, wie einige ziemlich verdeckte Stellen in den Dialogen andeuten, die Lehre von der Unendlichkeit der Welt gehalten zu haben. Sein berühmter Konflikt mit der Inquisition zeigt, daß die wörtliche Bibelinterpretation nun von hohen kirchlichen Stellen gegen die mildere Form der kopernikanischen Lehre gewendet wird. Wir wissen nicht, ob dabei ein Mißtrauen gegen BRUNOs Gedanken im Spiel war.

7. Aber die große Öffentlichkeit macht keine feinen Unterschiede: Die beiden Fälle BRUNO und GALILEI genügen nun, um bis in unsere Tage das Schiff der Astronomie zu beladen mit der Last des Kampfes zwischen Ratio und Tradition. Der Satz: „Die Erde bewegt sich" scheidet plötzlich einen neuen Glauben an Wissenschaft und Untrüglichkeit der Vernunft vom

alten Glauben an überlieferte philosophische und theologische Lehren. Die Bewegung der Erde und die Unendlichkeit der Welt, bei CUSANUS Ausfluß großartiger, aber frommer Spekulation, sind nun die Fahnen, unter welchen das Zeitalter der Vernunft und die Krisis des europäischen Geistes heraufkommen.

Eine Folge der Verurteilung GALILEIs und des erst im vorigen Jahrhunderts aufgehobenen Verbots aller kopernikanischen Werke war die Lähmung weittragender kosmologischer Gedankenarbeit im Bereich der katholischen Kirche und der Gegenreformation. Dagegen wurde in den Ländern, die dem kirchlichen Einfluß nicht unterstanden, ein geradezu fanatischer Freiheitsdrang im Geistigen ausgelöst. In eben diesen nordischen Ländern, in Deutschland und in den Niederlanden, in England und später in Frankreich, verläuft der Siegeszug der Naturwissenschaften und der großen Systeme der rationalistischen Philosophie.

8. Innerhalb dieser Entwicklung wird gekämpft um ein metaphysisches Teilproblem, das zunächst keinen eigentlich astronomischen Charakter hat, das Problem von der Seinsweise und Natur des Raumes. Erst in unseren Tagen erhält es eine Wendung, die man 300 bis 400 Jahre früher nicht einmal vermuten konnte.

Das seit BRUNO religiös gesteigerte Weltpathos baut die Vorstellung vom unendlichen Raume aus zu einem vermittelnden Prinzip zwischen dem unendlichen Gott und der Vielfalt der Welt oder Welten. Der Raum wird zum umgreifenden Gefäß göttlicher Daseinsäußerung; der unendliche Raum wird von BRUNO bis zum jungen KANT dichterisch besungen und bewertet als der unendliche Schauplatz der Werke des Unendlichen von unsagbarer Weite. Der Raum wird in erhabener Gleichförmigkeit als ewig und *vor* allen Dingen, *vor* aller Bewegung gedacht. Er wächst fast über die Dinge hinaus und weist hin auf die Einheit Gottes. Es ist, als erhielte er ein Seinsübergewicht über die Dinge. Da die schon seit dem Altertum mathematisierende Vernunft seinen inneren Strukturreichtum aufdeckt, so wird er zum Vorbild einer gesteigerten höchsten Rationalität, die wiederum dem Menschen einen Abglanz vom Wesen Gottes zu vermitteln scheint. So entsteht die Spannung zwischen der Vorstellung eines geistig-personalen Wesens und eines räumlich strukturierten Universums.

Die großen Denker von DESCARTES über SPINOZA, LEIBNIZ, BERKELEY bis zu KANT haben die verschiedensten Haltungen in dieser völlig metaphysischen Frage eingenommen. In unserem Zusammenhang ist wichtig die Haltung NEWTONs, der den absoluten Raum in die Physik und Mechanik einführte und dadurch die so heftigen, rein philosophischen Erörterungen zu einer gewissen Berührung mit der astronomischen Empirie brachte. Er glaubt, der Raum sei das „Sensorium Dei", eine Art Organ Gottes, mit welchem Gott die Dinge wahrnehme — ein Glaube, den LEIBNIZ strikt ablehnt — mit metaphysischen Argumenten natürlich, wie es der Zeit entsprach.

9. Trotzdem ist der sog. absolute Raum ein Begriff, der in der theoretischen Astronomie eine wesentliche Rolle gespielt hat — und heute noch spielt, weil die mit ihm operierende NEWTONsche, die sog. klassische Mechanik so unbestreitbare Erfolge hatte, daß sie immer noch die Grundlage der Ausbildung unserer Physiker und Techniker ist. Die empirische Tatsache, auf der die Brauchbarkeit dieses merkwürdigen Begriffes beruht, ist der sog. absolute Charakter der Rotation. Die Rotation eines Laboratoriums ist leicht feststellbar von Beobachtern, die die Rotation mitmachen, auch dann noch — und darauf kommt es hier an —, wenn sie die Außenwelt nicht sehen können. Anders ausgedrückt: Wir können die Drehung der Erde auch bei bewölktem Himmel nachweisen, wenn der Sternenhimmel unsichtbar ist. Diese Drehung „relativ zum absoluten Raum" ist zu NEWTONs Zeiten und noch heute von tiefer Merkwürdigkeit. Reine Positivisten, wie ERNST MACH, haben gefordert, die absolute Rotation *in der Theorie* zu ersetzen durch die Rotation relativ zum Fixsternhimmel. ALBERT EINSTEIN glaubte ursprünglich, in *seiner* neuen Gravitationstheorie seien *alle* Bewegungen, also auch Beschleunigungen, *relativ* in dem Sinne, daß man in ihr nur Bewegungen von Körpern relativ zueinander sinnvoll zulassen könne (daher auch der Name „Allgemeine Relativitätstheorie").

Aber trotz dieses Glaubens hat EINSTEIN gerade den Schritt getan, der dem Raum eine ganz neue Art von physikalischer Realität verlieh. Wir müssen etwas weiter ausholen, um seine Leistung deutlich zu machen.

10. Nach dem langen metaphysischen Kampf um das Wesen des Raumes schien KANTs Lehre vom Raum als Form unserer Anschauung das ganze Problem in der bisherigen Fragestellung ad absurdum zu führen. Er erklärt es für sinnlos, dem Raum eine Realität außerhalb des menschlichen Geistes zuzuschreiben. Der Raum ist die Wesensform unseres äußeren, sinnlichen Anschauens von wirklichen Dingen. Nur in bestimmter Einstellung und Relation unseres Geistes auf die Dinge tritt er auf, dann aber mit Notwendigkeit. Die quantitativ-extensive Unendlichkeit ist eine „im Gemüte bereit liegende" Anschauungsweise des endlich-sinnlichen, nicht eine Daseinsweise oder Wirkungsweise des unendlichen Geistes. Damit ist dann die Frage nach dem Verhältnis der Realität des Raumes zum Ens Realissimum gegenstandslos geworden, weil der Raum kein Sein bedeutet, sondern eine besondere Weise menschlichen Erkenntnisvermögens.

Nun war zu KANTs Zeiten die Struktur „des" Raumes die sog. euklidische, es galt in ihm schlechthin jene Art von Geometrie, die wir alle auf der Schule gelernt haben, mit unendlichen Geraden und Ebenen, mit Dreiecken, in welchen die Winkelsumme genau zwei Rechte ist. Man kannte keine andere Art von Geometrie, und „die Form unserer Anschauung" war also euklidisch.

11. In der ersten Hälfte und um die Mitte des vorigen Jahrhunderts aber erfand man ganz neue Typen von Geometrie; zunächst solche, in welchen zwar Geraden und Ebenen möglich sind, die Winkelsumme im Dreieck aber von zwei Rechten verschieden ist. Dann aber wurde von B. RIEMANN jene nach ihm benannte neue Art von Geometrie geschaffen, in der Räume bei beliebiger Dimensionszahl innere Krümmungen mannigfaltigster Art aufweisen. Damit war der rein gedankliche Vorrat an mathematischen Ausdrucksmöglichkeiten enorm bereichert worden.

12. Endlich können wir zum sog. absoluten Raum zurückkehren. NEWTON und seine Nachfolger bis zu

EINSTEIN dachten sich in ihm die sog. Kräfte, insbesondere die Gravitationskraft, eingelagert; der Raum wurde davon nicht berührt, die Gravitationskraft führte ein Dasein *im* Raume, sie bedurfte zu ihrer näheren Beschreibung des räumlichen Untergrundes, sie war — wie man sagt — Funktion des Ortes; aber der Raum existierte in seiner euklidischen Struktur unverändert, ob die Schwerkraft in ihm war oder nicht. Die Gravitationskraft ist also ausgebreitet im Raum, sie bildet ein Kraftfeld.

Diese Zweiheit von euklidischem Raum und hineingelagertem Schwerkraftfeld ist es, die EINSTEIN aufhob. Er zeigte, daß man nur statt des allzu einfachen euklidischen Raumes den so viel reichhaltigeren RIEMANNschen Raumbegriff heranzuziehen brauchte, um ganz ohne den unabhängigen Begriff Schwerkraft auszukommen. Kurz gesagt: EINSTEIN zeigte, daß man den Raum selbst als Feld ansehen kann, daß man ihn zum physikalischen Feld machen kann. Man gibt nur zwei Aspekte derselben Entdeckung, wenn man sagt, EINSTEIN habe die Schwerkraft geometrisiert, oder wenn man umgekehrt sagt, er habe den Raum physikalisiert.

Etwas genauer müßte man sagen, daß nicht allein der Raum, sondern mit ihm zusammen die Zeit, also das sog. vierdimensionale Raumzeitkontinuum, geometrisiert wurde. Aber wir wollen nicht auf Einzelheiten eingehen.

13. Wichtig ist, daß die EINSTEINsche Gravitationstheorie sich in einigen empirisch prüfbaren Punkten deutlich als der NEWTONschen überlegen erwies. Man kann nur bedauern, daß sie dabei gleichzeitig im mathematischen Apparat komplizierter ist als die alte Theorie; deshalb hat die neue gegenüber der alten Auffassung nicht so leicht ein Übergewicht in der allgemeinen Anerkennung finden können.

Wenn aber die Physiker und Astronomen im allgemeinen erkenntnistheoretisch kritische Realisten sind, so müssen wir es heute als legitim ansehen, „dem" Raum den gleichen Grad physikalischer Realität zuzusprechen, den man noch vor 40 Jahren dem Gravitationsfeld zubilligte. „Der" Raum existiert dann nicht nur als Form unserer Anschauung. Man kann bezweifeln, ob wir sein „An-sich-Sein" je in den Griff bekommen; aber daß unsere mathematischen Denkformen keinen konstanten, sondern einen wachsenden Vorrat bilden, haben wir gelernt; daß darin Typen vorkommen, die — ohne eine besondere Schwerkraft zu bemühen — auf die Wirklichkeit der himmlischen Bewegungsphänomene ganz unwahrscheinlich genau passen, die also — nun einfach ausgedrückt — einen ganz unerwarteten Wahrheitsgehalt haben, ist das Ergebnis der EINSTEINschen Leistung.

Die Absolutheit des Raumes, die NEWTON behauptete, die EINSTEIN aber glaubte aufgehoben zu haben, ist in der EINSTEINschen Theorie noch völlig enthalten, insofern als der Begriff der absoluten Rotation auch in der EINSTEINschen Theorie völlig legitim ist. Ja, es ist in EINSTEINs Theorie noch sinnvoll, von der Rotation des gesamten Materie-Inhalts der Welt relativ zum absoluten Raum zu sprechen.

14. Das Problem der Unendlichkeit aber, die den jungen KANT berauschte, während der alte sie unter die Antinomien der reinen Vernunft rechnete, hat viel von seinem Gewicht verloren. Die RIEMANNsche Raumstruktur, deren sich die EINSTEINsche Theorie bedient, vermag nämlich neben unendlichen auf vollkommen endliche und doch unbegrenzte Welten zu führen, nach dem zweidimensionalen Vorbild der Kugeloberfläche; und man könnte in der Sprache des *Cusaners* sagen: „Mundus potest concipi infinitus aut finitus, sed non terminatus". In der EINSTEINschen Theorie haben also unendliche und endliche Raummodelle gleicherweise Platz. Bei der Anwendung auf die Wirklichkeit allerdings läßt sich der Wahrheitsgehalt der Modelle nur in den notwendig endlichen Bereichen unserer Erfahrung prüfen. — Die Frage, ob das Gebiet, das unsere Instrumente überschauen, auf einen im ganzen endlichen Kosmos schließen lasse, ist bisher nicht entschieden. Und vielleicht ist „das Ganze", auch bei aller endlichen Unbegrenztheit, noch so groß, daß eine *empirische* Entscheidung nie möglich ist.

Und selbst die denkerische Extrapolation ins Unendliche ist von Gefahren umdroht, denen möglicherweise sogar der Begriff des Naturgesetzes zum Opfer fallen kann. Dieses abstrakte Problem wollen wir jedoch nicht weiter verfolgen. Hören Sie eine wahre Anekdote: Vor 25 Jahren durfte ich einmal dem Göttinger Mathematiker DAVID HILBERT einen privaten Vortrag halten über kosmologische Probleme in der EINSTEINschen Gravitationstheorie. Dabei legte ich Wert auf diejenigen strengen Lösungen des Problems, die auf *unendliche* Raumformen führen. Da unterbrach mich HILBERT sehr ungeduldig und sagte: „Der Mensch kann die Natur doch nicht als unendlich denken." Das ist mit HILBERTscher Härte und Übertreibung gesagt, macht aber das Unbehagen des großen alten Mannes deutlich.

II.

1. Lassen Sie uns bei einem anderen Aspekt der kopernikanischen Wende noch etwas verweilen. Wir sahen, wie schwer es war, das anthropozentrische Weltbild aufzugeben. Dem Mittelalter mußte es selbstverständlich und heilig sein, weil der Erde — als Schauplatz der Heilsgeschichte — eine ausgezeichnete Stellung im All zukommen mußte — trotz aller Vergänglichkeit. KEPLER — insoweit noch ganz Mensch des Mittelalters, als er die begrenzte Symmetrie der Welt festhält — gefährdet zwar als Kopernikaner das anthropozentrische Bild; aber er sucht es zu retten durch den Hinweis darauf, daß das Kleinere (die Erde) dem Größeren (der Sonne) überlegen sei an Würde. Bei dem Teil der europäischen Menschen, der seinen religiösen Glauben mit höchst anschaulichen Bildern ausgestattet hatte, war weithin Ratlosigkeit eingekehrt, die in dem Schaudern PASCALs zum Ausdruck kommt: „. . . wenn ich den kleinen Raum meines Daseins erwäge, der in unendlichen Weiten verschwindet, die ich nicht kenne und die mich nicht kennen, so erfüllt mich dieser Gedanke mit Schrecken . . ." — Und wieder: „. . . Das ewige Schweigen der unendlichen Räume ist für mich etwas Erschreckendes." — Nun, man hat gelernt, sich damit abzufinden. Kurz nach der GOETHE-Stelle, die ich zu Anfang zitierte, findet sich die folgende: „Doch unter allen Entdeckungen und Überzeugungen möchte nichts eine größere Wirkung auf den menschlichen Geist hervorgebracht haben als die Lehre des KOPERNIKUS. Kaum war die Welt (gemeint ist die Erde) als rund anerkannt und in sich selbst abgeschlossen, so sollte sie auf das

ungeheure Vorrecht Verzicht tun, der Mittelpunkt des Weltalls zu sein. Vielleicht ist noch nie eine größere Forderung an die Menschheit geschehen: denn was ging nicht alles durch diese Anerkennung in Dunst und Rauch auf: ein zweites Paradies, eine Welt der Unschuld, Dichtkunst und Frömmigkeit, das Zeugnis der Sinne, die Überzeugung eines poetisch-religiösen Glaubens; kein Wunder, daß man dies alles nicht wollte fahren lassen, daß man sich auf alle Weise einer solchen Lehre entgegensetzte, die denjenigen, der sie annahm, zu einer bisher unbekannten, ja ungeahnten Denkfreiheit und Großheit der Gesinnungen berechtigte und aufforderte."

2. Es ist aber wenig bekannt, daß im rein fachlich-astronomischen Bereich in unserem Jahrhundert Schritte getan wurden, die denjenigen des KOPERNIKUS ähnlich waren. Noch zweimal nämlich meinte man, unser Standpunkt sei nahe der Mitte größerer Sternsysteme, und jedesmal erwies sich diese Meinung als Täuschung.

Die astronomische Leistung des KOPERNIKUS und seiner Nachfolger war es, das Sonnensystem von der Zufälligkeit des Standpunktes und der Bewegung der Erde unabhängig zu beschreiben. In den ersten Jahrzehnten unseres Jahrhunderts aber, als die empirische Forschung begann hinauszutreten in den weiten Raum der Fixsternwelt, da war die analoge Aufgabe ein zweites Mal gestellt, weil es wieder darauf ankam, den räumlichen Aufbau und die Bewegungen in dem Sternsystem, das wir als Milchstraße sehen, so zu zeichnen, als stünden wir nicht im Inneren des Systems, sondern außerhalb. Die Aufgabe ist jetzt *empirisch* ungleich schwieriger, wenn auch nicht gedanklich — denn die Tendenz der Astronomie war *gegen* die Idee gerichtet, daß der Mensch eine bevorzugte Stellung in der physischen Welt einnehme. Ich kann hier die einzelnen Stufen der Entwicklung über THOMAS WRIGHT aus Durham, KANT, LAMBERT nicht schildern. Gegen Ende des 18. Jahrhunderts entwarf W. HERSCHEL, der sich seine großen Fernrohre selbst baute, ein räumliches Bild des Milchstraßensystems, bei dem wir nahe der Mitte einer abgeflachten Sterngesamtheit stehen, deren größte Erstreckung in Richtung der Milchstraße liegt. Gegen Ende seines Lebens, nach Gewinnung weiteren Materials, war er allerdings dieses Bildes nicht mehr sicher. — Das 19. Jahrhundert fährt im wesentlichen fort, unter strenger Meidung der Spekulation zuverlässigere und reichere Beobachtungsdaten zu sammeln, bis um die Wende unseres Jahrhunderts aus den Bemühungen SEELIGERs und — auf breiterer Basis — KAPTEYNs ein Bild erwächst, das dem HERSCHELschen sehr ähnlich, aber quantitativ viel besser fundiert ist. Wieder stehen wir mit dem Sonnensystem in der Mitte eines abgeflachten Systems, die Dichte fällt in Richtung der Milchstraßenebene langsamer, senkrecht dazu rascher ab. In einer Entfernung von fast 30000 Lichtjahren ist die Dichte auf $^1/_{100}$ der Dichte in unserer Nachbarschaft abgesunken. Man war sich zwar klar darüber, daß viele Unregelmäßigkeiten und Einzelstrukturen von diesem schematischen Bild nicht erfaßt wurden, aber man glaubte doch, ihm einen beträchtlichen Wahrheitsgehalt zuschreiben zu dürfen.

3. Als um 1920 dieses Bild sich als ziemlich endgültig präsentierte, da trat ein unerwartetes Ergebnis hinzu, das ganz auf der Einführung eines riesigen Spiegelteleskops in die Astronomie beruhte, des 60-Zöllers der Mt. Wilson-Sternwarte. In den Händen von H. SHAPLEY lieferte das genannte Instrument die Erkenntnis, daß es ein größeres galaktisches System geben müsse, ein Milchstraßensystem, dessen Zentrum fast 50000 Lichtjahre von uns entfernt ist. Unser Sonnensystem steht fast am Rande dieses Riesengebildes. Das Zentrum wird dargestellt von der Gesamtheit der sog. kugelförmigen Sternhaufen, deren individuelle Entfernungen SHAPLEY als erster erfolgreich bestimmte. SHAPLEYs Leistung steht in Analogie zu der des KOPERNIKUS. Das schwache Analogon allerdings zu der Erregung der Gemüter, die der Entdeckung des KOPERNIKUS folgte, war in den Kreisen der älteren Astronomengeneration ein ungläubiges Knurren oder Murmeln, das kaum noch öffentlich wurde.

4. Man glaubte dann eine Zeitlang, daß das oben geschilderte lokale System, das SEELIGER und KAPTEYN herausgearbeitet hatten, eingebettet sei in das große, von SHAPLEY aufgefundene, und man redete von dem Problem, das Zusammenfallen der Hauptebenen beider Systeme verstehen zu müssen aus einer dynamischen Wechselwirkung zwischen dem größeren und dem kleineren System.

Während aber die Vorstellung des größeren Systems in immer neuen fruchtbaren Fragestellungen und Ergebnissen an Wahrheitsgehalt zunahm, konnte das kleinere nicht sterben, bis 1930 die (vorher schon gelegentlich vermutete, aber nie empirisch erfaßte) Lichtabsorption in der Milchstraße durch TRÜMPLER entdeckt wurde. Es stellte sich heraus, daß in der Hauptebene des Milchstraßensystems eine Gas- und Staubschicht liegt, die für denjenigen, der in ihr steht (also für die Sonne und uns) das Bild der Milchstraße trübt, so daß man von der weiteren Umgebung so wenig sieht, wie an einem nebligen Tage von der Landschaft. Das lokale, *kleinere* System war also nichts als eine Täuschung. Daß SHAPLEY trotzdem das *größere* System richtig erkannte, lag daran, daß die Absorptionsschicht sehr flach ist und somit die Erkennbarkeit der Kugelhaufen — sofern sie nicht selbst zu nahe an der Schicht stehen — nicht stark beeinträchtigte. Nur die Maßstäbe mußten etwas verkleinert werden. Das Zentrum des Systems ist nicht 50000, sondern in Wirklichkeit nur etwa 25000 Lichtjahre entfernt. Man war also, obwohl die geistige Tendenz dem Scheinresultat nicht günstig war, nur durch eine zunächst noch unbekannte Störungsquelle — eben die Absorption — gedrängt worden zu der Vorstellung, wir stünden im Zentrum eines Systems, das es gar nicht gab.

5. SHAPLEY hätte seine Methodik der Entfernungsbestimmung kugelförmiger Sternhaufen leicht anwenden können auf jene seit langem bekannten Gebilde, die zu Millionen den Himmel bevölkern, die im Zuge der Milchstraße aber nicht vorkommen und deshalb außergalaktische Nebel heißen. Viele von ihnen haben Spiralstruktur, andere wieder sehen elliptisch oder spindelförmig aus. KANT hatte schon vor 200 Jahren die Meinung vertreten, sie seien große Sternsysteme, nur so weit entfernt und jenseits der Milchstraße, daß das Fernrohr sie nicht auflösen könne. Diese Meinung KANTs war bis in die zwanziger Jahre unseres Jahrhunderts hinein von vielen Astronomen geteilt, von manchen auch abgelehnt worden. Eine empirische Entscheidung gab es noch nicht. SHAPLEY

aber hätte sie erzwingen können. Sein Instrument reichte aus, wenigstens den größten der Nebel, den Andromeda-Nebel, weit genug aufzulösen, um die für die Entfernungsbestimmung nötigen Einzelsterne zu entdecken. Aber er war völlig überzeugt von der Unmöglichkeit, diese Auflösung einwandfrei zu leisten. Was wirkliche Einzelsterne waren, das hielt er für kleine Sterngruppen, und er riet sogar jüngeren Kollegen ab, sich an dem Problem zu versuchen. So wurde für ein paar Jahre die Meinung fixiert, die Nebel seien zum Milchstraßensystem gehörige, verhältnismäßig nahe Objekte, die Milchstraße umfasse so ziemlich alles, was „das Universum" genannt werden könne. „Hinter" der Milchstraße schien wieder einmal die Welt zu Ende zu sein, wenigstens schien es dort keine Sterne zu geben.

6. Aber wieder wurde eine Sphäre zerschlagen: E. HUBBLE hatte die Unbefangenheit, die Auflösung des Andromeda-Nebels erneut zu versuchen, übrigens mit einem noch größeren Instrument, das inzwischen aufgestellt worden war, dem 100-Zöller von Mt. Wilson. Und ihm gelang dann der Nachweis, daß der Andromeda-Nebel in der Tat weit außerhalb unseres eigenen Systems steht, also wirklich — um A. v. HUMBOLDTs schönes Wort zu gebrauchen — eine „Weltinsel" ist von der Art, die KANT erträumte. Nachdem HUBBLE die Entfernungen vieler Nebel — so gut es ging — bestimmt hatte, folgte bald die Entdeckung der Korrelation zwischen der Entfernung und der spektroskopisch bestimmten Radialgeschwindigkeit, die diesmal nun ein Phänomen liefert, das nicht nur die Astronomen anging: das expandierende Universum. Hier ist das große Wort „Weltall" oder „Universum" in jenem empirischen Sinn verstanden, daß es den ganzen überschaubaren Bereich meint, der bis zu den fernsten Nebeln reicht, die unsere größten Instrumente überhaupt erfassen können, also weiter als 1000 Millionen Lichtjahre in den Raum hinaus; und diese Gesamtheit, die den Raum gleichförmig erfüllt, befindet sich in Expansion. Noch ein letztes Mal könnte es so scheinen, als seien wir die Mitte dieses wahrhaft kosmischen Phänomens, aber sofort zeigt ein wenig Nachdenken, daß eben die weitgehende Proportionalität der Geschwindigkeiten mit den Entfernungen jedem beliebigen Nebel, der die Flucht mitmacht, das gleiche Recht zuerkennt, sich für die Mitte zu halten. Die Welt hat also, soweit wir heute sehen können, keine Mitte mehr.

III.

1. Wir sind nun gezwungen, vom geschichtlichen Aspekt des Kosmos zu sprechen. Erinnern wir uns, daß zwischen der mittelalterlichen und der neuzeitlichen Ansicht ein Unterschied besteht, der sehr ähnlich demjenigen ist, den wir bei den Raumvorstellungen kennenlernten.

Das Mittelalter sieht die von Gott aus dem Nichts geschaffene Welt vor endlicher Zeit entstehen, die Erde ist dann Schauplatz der Menschheitsgeschichte, der Erlösung und der Erwartung der Wiederkunft des Herrn im Gerichte und dann . . . „wird ein neuer Himmel und eine neue Erde sein". Es wäre ein zweifelhaftes Verfahren, mit unseren naturwissenschaftlichen Kategorien den Sinn dieser Prophezeiung aufschließen zu wollen. — Jedenfalls ist, von allen Einzelheiten abgesehen, ein einsinniger geschichtlicher Ablauf vorgestellt, der dem Heilsplan Gottes entspricht.

Dem steht dann etwa um 1700 fertig gegenüber das Bild der unendlichen Welt, die im einzelnen zwar von reichem Werden und Vergehen erfüllt, im großen aber unverändert bleibt. Ihrer räumlichen Endlosigkeit entspricht die zeitliche. Wie diese Welt bei NEWTON hineingebettet ist in den absoluten Raum, so auch in die absolute Zeit, die gleichförmig dahinrinnt — unbeeinflußt von den Dingen und ihren Veränderungen.

Und wenn auch KANT wiederum die Zeit — ebenso wie den Raum — zur Form unserer Anschauung erklärt, so bleibt doch in Physik und Astronomie die NEWTONsche Interpretation mächtig.

Es ist oft geglaubt worden, daß mit der EINSTEINschen Relativitäts- und Gravitationstheorie der Absolutcharakter der Zeit in unseren modernen Denksystemen aufgegeben worden sei. Das ist richtig in dem Sinne, daß man lernte, verschiedene Ortszeiten zur Beschreibung physikalischer Phänomene zweckmäßig auch dann einzuführen, wenn die „Orte", für die sie gelten sollen, relativ zueinander bewegt sind. Darauf hatte das NEWTONsche Gedankensystem in der Tat nicht achten können. Die Frage aber, ob man nicht in großen Gebieten des Kosmos eine *universelle* Zeit zweckmäßig definieren könne, bleibt sinnvoll und läßt sich im Rahmen der EINSTEINschen Gravitationstheorie und der auf ihr beruhenden theoretischen Kosmologie untersuchen und bedingt bejahen.

2. Doch ehe wir davon sprechen, vergegenwärtigen wir uns, daß längst vor der Entdeckung der Nebelflucht die Notwendigkeit erkannt war, Entwicklungsvorgänge in der Sternenwelt zu betrachten.

Wenn KEPLER in seiner Jugendschrift „Mysterium Cosmographicum" die Abstände der Planeten von der Sonne beschreibt durch die geeignet ineinander geschachtelten fünf regelmäßigen Körper, so sucht er den empirischen Befund nicht aus einer Entwicklung zu verstehen, sondern ihn in der statisch-mathematischen Denkweise seiner Zeit darzustellen. — Selbst NEWTON vermag den Bau des Sonnensystems nur hinzunehmen als Schöpfung Gottes und rationalisiert den Ablauf der Bewegungen. — Erst KANT macht den — nach unserem heutigen Wissen grundsätzlich richtigen — Versuch, das Sonnensystem entstanden zu denken aus einer chaotischen, rotierenden, diffusen und undifferenzierten Materieverteilung unter Annahme der allgemeinen Gültigkeit der NEWTONschen Mechanik und Gravitation.

In der Folge ist immer wieder in ähnlicher Weise argumentiert worden. Die Kategorie der Entwicklung wurde immer allgemeiner benutzt, um kosmische Strukturen verständlich zu machen, mindestens um zu fragen nach dem Alter kosmischer Gebilde. Und diese Fragen bleiben berechtigt, auch wenn wir von der Expansion des Universums nichts wüßten, ja wenn es sie gar nicht gäbe. Dann bliebe es immer noch sinnvoll, zu fragen nach der Genese der Planeten, Satelliten und Kometen, nach der Bildungsweise von einfachen und mehrfachen Sternen, von Sternhaufen und Nebeln, also von irgendwelchen individuellen Gebilden im Weltall.

3. Aber *nicht* auf Grund von Glaubenslehren, *nicht* in der Folge metaphysischer Spekulation, sondern durch den empirischen Befund der Expansion

sind wir vor die Aufgabe gestellt worden, eine Geschichte des ganzen Kosmos zu zeichnen.

Die Expansion des Universums wurde von DE SITTER im Jahre 1917 sehr vage erahnt. Ihre mathematische Entdeckung durch FRIEDMANN im Jahre 1922 wurde von EINSTEIN zunächst als falsch kritisiert. EINSTEIN zog aber 1923 die Kritik zurück, und 1924 ergänzte FRIEDMANN die Theorie um ein wesentliches Stück. Die *empirische Realität* der Expansion wurde nach einigen Jahren ungewisser Andeutung 1929 von HUBBLE erkannt, sieben Jahre nach ihrer theoretischen Vorhersage! Bis zum letzten Kriege wurden die theoretischen Deutungen ausgebaut und dem anwachsenden Beobachtungsmaterial kritisch gegenübergestellt. Schon vor dem Kriege, besonders aber nachher, kamen auch einige rivalisierende Deutungsversuche auf, die teilweise mit der EINSTEINschen Theorie verwandt waren, teilweise aber auch ganz feindlich zu ihr standen. Ich möchte, um der Kürze willen, im konservativen Rahmen der EINSTEINschen Gravitationstheorie bleiben, die in der heutigen Situation noch immer die geringste Willkür in der Behandlung unseres Problemkreises enthält und mit den Beobachtungen nirgendwo in Widerspruch gerät.

4. Nachdem, wie wir gesehen hatten, die Beobachtung der Nebel eine Mittelpunktslosigkeit der Welt über den ganzen erfahrbaren Bereich hin lieferte, kommt die Haltung des modernen Theoretikers darin zum Ausdruck, daß er beim Basteln und Bauen von Weltmodellen mit den gedanklichen Bausteinen der EINSTEINschen Gravitationstheorie die geometrische Mittelpunktslosigkeit zum Prinzip erhebt, ohne sich dabei theologischen Bedenken ausgesetzt zu sehen. Aber noch kurz vorher kann er sich überzeugen, daß er fast voraussetzungslos eine universelle kosmische Zeit formal definieren kann, die für alle in der Welt verteilt gedachten Beobachter dieselbe ist, vorausgesetzt, daß diese fingierten Beobachter sich je an ihrer Stelle mit der großräumigen Strömung der Materie (wie sie die Beobachtung in der Expansion zutage förderte) mitbewegen. Die so definierte Zeit ist die Eigenzeit dieser fingierten Beobachter; sie wird also angezeigt von den Uhren oder — physikalisch konkreter gesprochen — von den Schwingungen derjenigen Atome, welche die kosmische Strömung der Materie mitmachen. Die Frage, welche Möglichkeiten und Schwierigkeiten eintreten, wenn man diese kosmische Zeit durch Lichtsignale über die Welt verbreiten will, lassen wir hier unerörtert. *Nach* Einführung der kosmischen Zeit wird die Mittelpunktslosigkeit der Modelle erzwungen durch das Postulat, daß eine allgemeine Homogenität in der Welt herrsche, daß — wie die Mathematiker sagen — die Modelle invariant sein sollen gegenüber der Transformationsgruppe, welche den Übergang von *einem* der fingierten Beobachter auf irgendeinen *anderen* von ihnen beschreibt. Dann dreht man alles durch die Mühle der EINSTEINschen Feldgleichungen und erhält eine ganze Reihe von Modellen, die nun alle mit Sicherheit mittelpunktslos sind und eine formal sauber definierte kosmische Zeit enthalten.

5. Diese Reihe von Modellen ist heute merkwürdigerweise noch nicht vollständig bekannt. In einem Jahre etwa wird man sie aber alle vor sich haben. Es gibt unter ihnen räumlich unendliche und endliche. Sodann gibt es mindestens eines, in dem der gesamte unendliche Materieinhalt rotiert gegenüber dem unendlichen absoluten Raum. Hier stehen wir an der Schwelle einer Erkenntnis, die neu zu sein scheint:

EINSTEIN wollte dem Raum den Absolutheitscharakter nehmen, er wollte die MACHsche Forderung durch seine Theorie zum Ausdruck bringen, daß alle Rotation von Materie auch nur relativ zur Materie verstanden werden dürfe. In seiner Theorie kommen aber *unter Umständen* absolute Rotationen vor. Diese *Umstände* kann man beseitigen durch ein zusätzliches Postulat, das man aussprechen kann in verschiedenen Formen. Man kann ihm den Namen „Verbot der absoluten kosmischen Rotation" geben; lassen Sie uns der Kürze halber „Verbotspostulat" sagen. Wenn man es annimmt, schrumpft die Zahl der mittelpunktslosen Modelle stark zusammen. Man könnte sogar über MACH hinausgehen und den Absolutheitscharakter des Raumbegriffes noch weiter einschränken durch die Forderung, daß mit dem Verschwinden aller Materie aus der Welt auch alle Geometrie aufhören solle; denn Abstände in der Welt sind doch Abstände von Dingen. MACH würde an einer so gereinigten Gravitationstheorie seine Freude gehabt haben.

Und doch scheue ich mich, die Postulate zu propagieren. Ich schlage vor, sie zu diskutieren, wenn auch nicht heute und hier. Aber was leistet das mehr oder weniger abstrakte Spiel mit den möglichen Modellen überhaupt?

6. Nun, unter den reinen Empirikern ist ein merkwürdiger Sport eingerissen. Sie berechnen mit der ihnen so wohl anstehenden fröhlichen Unbekümmertheit aus der Fluchtbewegung der Nebel ein Weltalter von 5 Milliarden Jahren mit einer Unsicherheit von etwa einer Milliarde. Sie sagen: „Wenn ein Nebel in der und der Entfernung diese bestimmte Geschwindigkeit und ein anderer in doppelter Entfernung die doppelte Geschwindigkeit hat, wenn also universelle Proportionalität von Entfernung und Geschwindigkeit herrscht, so müssen die Nebel alle vor so und so viel Milliarden Jahren aufeinander gesessen haben." Das Verfahren tut so, als wisse man mit Sicherheit, daß die Geschwindigkeit jedes Nebels bei dem Prozeß der Expansion im Laufe der Zeit konstant geblieben sei. Aber diese Annahme hat keine Stütze in der Theorie und in der Erfahrung. Sie hat den einzigen Vorzug, aus Herzen zu kommen, die sich insofern ihre Unschuld bewahrt haben, als sie mit keiner Theorie beschwert sind. Hier greifen nun die Modelle ein. Denn wenn schon eine Annahme gemacht werden muß, dann eine solche, die im Rahmen bewährter und — wenn es geht — konservativer Grundprinzipien steht. Das kann von den Modellen im Rahmen der EINSTEINschen Gravitationstheorie behauptet werden. Wenn man das einmal zugestanden hat, dann erkennt man, daß verschiedene Modelle zur Darstellung der Beobachtungen dasselbe leisten; das wieder ist nichts als der legitime Ausdruck dafür, daß einerseits die Beobachtungen nie beliebig genau sind, daß andererseits eine Reihe von theoretischen Vereinfachungen die konkrete Wirklichkeit nicht genau widerspiegeln kann. Kurz, eine gewissenhafte Berechnung des Weltalters aus der Expansion der Nebel liefert eine beträchtliche Ungenauigkeit dieser Zahl. Es scheint aber, als dürften wir sagen, daß in der Tat vor einigen Milliarden Jahren ein Anfangszustand herrschte, der — um das mindeste zu sagen — die Materie der Welt in viel höherer Dichte

als heute enthalten haben muß, weil damals die Nebel in der Tat „dicht aufeinander gesessen haben müssen". Aber wie dicht eigentlich?

7. Darauf läßt sich leider nur eine ganz gewundene Antwort geben; denn die verschiedenen Modelltypen machen über den Anfangszustand sehr verschiedene Aussagen: Die Modelle *mit* absoluter Rotation zeigen die Möglichkeit einer gewissen endlichen Maximaldichte, die aber abhängt vom Rotationsgehalt des Universums; diese Maximaldichte steht am Ende einer Epoche der Kontraktion, und aus ihr ist die heutige Expansion hervorgegangen. Die Modelle *ohne* Rotation dagegen führen auf einen Anfangszustand von unendlich hoher Dichte. Man nehme hier das Wort unendlich nicht allzu genau. Aber man nehme es in dem Sinne, daß jedenfalls die krassesten unter den theoretischen Positivisten, die logischerweise das Verbot absoluter Rotationen anzunehmen hätten, zwangsläufig aus den Beobachtungen mit Hilfe der EINSTEINschen Gravitationstheorie schließen müssen auf einen Zustand, der so extrem war, daß in ihm nicht allein individuelle kosmische Formen entstanden sind, sondern möglicherweise die ganze Verteilung der chemischen Elemente im Kosmos, die wir heute beobachten.

Der philosophische Kern der Situation aber ist der, daß die Frage, ob man im Rahmen der Relativitätstheorie einen absoluten Raum zulassen soll oder nicht, zusammenhängt mit der anderen Frage nach dem Urzustand der Welt bei Beginn der Expansion und nach dem Alter der Welt. Die Mathematiker müßte es reizen, den sehr schwierigen topologischen Fragen nachzugehen, die mit den nichtrotierenden und besonders den rotierenden Weltmodellen verbunden sind.

Was die Astronomen aber bisher kaum begonnen haben, das ist eine Theorie der Entstehung individueller kosmischer Formen, die Rekonstruktion von Entwicklungsabläufen im Zusammenhang mit dem Phänomen der Expansion. Das Problem ist äußerst komplex. Sicher werden vorher viele Einzelprobleme zu lösen sein, ehe man eine wirkliche Weltgeschichte schreiben kann. Daß wir in der modernen theoretischen Physik die gedanklichen Mittel haben, um das Problem mit Aussicht auf Erfolg anzugreifen, ist aber kaum zu bezweifeln. In diesem Zusammenhang wurde unsere Preisaufgabe gestellt.

8. Eine der uralten, aber im Laufe der Zeit stets deutlicher gewordenen Erfahrungen, die immer wieder neu die Verwunderung erregen, ist die Tatsache, daß die schöpferische, mathematisierende Vernunft der Menschen in einer prästabilierten Harmonie mit der objektiven formalen Struktur der Welt steht. Es gab Zeiten, in welchen die Spekulation in einem solchen Maße wucherte, daß die Vernunft es sich gefallen lassen mußte, eine Hure gescholten zu werden. Das braucht sie nicht mehr zu dulden, seitdem die andere Komponente der modernen Wissenschaft, systematische Beobachtung und kritisches Experiment, hinzugetreten ist, um zusammen mit der Vernunft jene Wahrheit zu schaffen, die erst entsteht in der Vereinigung des subjektiven Geistes mit dem in den Dingen sichtbar werdenden objektiven Geist. Von EINSTEIN stammt der Ausspruch: „Das ewig Unbegreifliche an der Welt ist ihre Begreiflichkeit."

Es sollte niemandem, dem es vergönnt ist, sich durch diese Begreiflichkeit beschenkt und beglückt zu fühlen, verwehrt werden, Dankbarkeit zu empfinden.

„In der Tat" — so sagt KANT am Ende der „Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels" — „wenn man mit solchen Betrachtungen und mit den vorhergehenden sein Gemüt erfüllet hat, so gibt der Anblick eines bestirnten Himmels bei einer heitern Nacht eine Art des Vergnügens, welches nur edle Seelen empfinden. Bei der allgemeinen Stille der Natur und der Ruhe der Sinne redet das verborgene Erkenntnisvermögen des unsterblichen Geistes eine unnennbare Sprache und gibt unausgewickelte Begriffe, die sich wohl empfinden, aber nicht beschreiben lassen."

Hamburg-Bergedorf, Hamburger Sternwarte

Eingegangen am 24. Oktober 1956

Isotope, ihre Herstellung und Messung*)

Von W. WALCHER, Marburg

1. Historische Einleitung. 2. Mischungsverhältnisse der Isotope; Messung der Mischungsverhältnisse, Massenspektrometrie; Ionenoptik; Ionenquellen; Auffänger; Meßtechnik; Meßgenauigkeit; Empfindlichkeit und Auflösungsvermögen; Konstanz der Mischungsverhältnisse; Radiogene Elemente; Abweichungen von der Konstanz; Isotopenverdünnungsmethode. 3. Chemischer Unterschied der Isotope; Austauschreaktionen; Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten einer Austauschreaktion, Paläotemperaturen. 4. Isotopentrennung; Einzelprozesse, Trennfaktor; Vervielfachung; elektromagnetische Isotopentrennung; getrennte stabile Isotope. 5. Herstellung und Messung radioaktiver Isotope; Herstellung; Messung mit dem Szintillationszähler.

1. Historische Einleitung

Seit dem Jahre 1906 hatten die Radiochemiker immer wieder Paare von Elementen, wie z. B. Thorium und Ionium, Mesothorium und Radium, gefunden, die sich durch ihre Zerfallseigenschaften deutlich unterschieden, chemisch jedoch nicht, auch nicht unter Anwendung ihrer empfindlichsten Methoden, getrennt werden konnten. Dieser Erscheinung wurde alsbald eine große Bedeutung zugemessen, so daß SODDY bereits in seinem Bericht über die Radioaktivität im Jahre 1910 [*1*] feststellte, daß diese Beobachtung geeignet sei, „neues Licht nicht nur auf die Radioaktivität, sondern auch auf die Elemente im allgemeinen und auf das Periodische System zu werfen". Nachdem dann RUSSELL und ROSSI [*2*] gezeigt hatten, daß Ionium und Thorium spektroskopisch identisch sind, und RUTHERFORD und ANDRADE [*3*] die Identität der Röntgenspektren von Radium B und Blei festgestellt hatten, schlug SODDY im Jahre 1913 [*4*] für solche Elemente den Namen Isotope vor und folgerte, daß auch in dem Teil des Periodischen Systems, der nicht von radioaktiven Elementen besetzt ist, *chemisch*

*) Vortrag, gehalten auf der 99. Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte am 24. September 1956 in Hamburg.

identische Elemente mit verschiedenem Atomgewicht, also *Isotope*, existieren müßten. J. J. THOMSON fand schon im gleichen Jahr bei der Analyse von Kanalstrahlen mit der Parabelmethode einen Hinweis auf die Isotope des Neons.

Er berichtet darüber der Royal Institution mit folgenden Worten: „Ich komme nun zu photographischen Aufnahmen der leichteren Elemente. Hier finden wir die Linien von Helium, von Neon, von Argon, und darüber hinaus ist hier eine Linie, welche dem Atomgewicht 22 entspricht und welche nicht mit irgendeinem bekannten Gas in Zusammenhang gebracht werden kann."

Aber erst 1919, nachdem ASTON seinen neuen „Massenspektrographen" gebaut hatte, konnte die Isotopie der stabilen Elemente sichergestellt werden. ASTON gelang es in wenigen Jahren, das ganze Periodische System zu durchmustern und nicht nur eine große Zahl von Isotopen zu entdecken, sondern auch ihre relativen Häufigkeiten (Mischungsverhältnisse) mit beachtlicher Genauigkeit zu bestimmen [5].

Damit gewann die Isotopie ein großes allgemeines Interesse für die Forschung. Dem Physiker versprach sie einen Einblick in den Aufbau des Atomkerns: eine genaue Messung der Massen der einzelnen Isotope — heute sagen wir in diesem Zusammenhang Nuklide — ließ Schlüsse auf den Energieinhalt der Atomkerne, ihre Bindungsenergie und Stabilität zu. Dem Chemiker lieferten die genauen Atommassen zusammen mit den relativen Häufigkeiten genaue Werte der Atomgewichte der natürlichen Isotopengemische. Daher wurden zur Bestimmung der Atommassen in den letzten Jahrzehnten immer größere und präzisere Massenspektrographen gebaut; die Namen ASTON, DEMPSTER, BAMBRIDGE, MATTAUCH kennzeichnen diese Forschungsrichtung.

Schon bei seiner ersten Durchmusterung des Periodischen Systems hatte ASTON [5] festgestellt, daß die Isotopenmischungsverhältnisse der natürlichen Elemente im Rahmen der damaligen Meßgenauigkeit unabhängig von ihrer terrestrischen Herkunft sind, und die weiteren Untersuchungen ergaben, daß selbst in Meteoriten, also in kosmischer Materie, diese Mischungsverhältnisse innerhalb der Meßfehlergrenzen dieselben wie auf der Erde sind. Dieser Befund sagt nicht weniger aus, als daß alle Materie im Kosmos denselben Ursprung und dieselbe Entstehungsgeschichte hat, und ist von großer Bedeutung für die Kosmologie, denn die Isotopie gibt damit einen Einblick in die physikalisch-chemischen Prozesse der Elemententstehung. Daher wurde die Frage gestellt, wieweit die Mischungsverhältnisse in den Isotopengemischen verschiedener Herkunft wirklich gleich sind und welche Abweichungen bei genauerer Messung auftreten.

Diese Frage berührt sich mit der anderen: Die Chemiker hatten ursprünglich die chemische Gleichheit der Isotope festgestellt und waren nicht in der Lage, sie zu trennen. Sind nun die chemischen und biologischen Prozesse wirklich unabhängig von der Isotopie der Elemente? Auch die Beantwortung dieser Frage erforderte präzise Messungen von Isotopenmischungsverhältnissen und führte zur Entwicklung von Massenspektrometern höchster Genauigkeit; der Name NIER darf in diesem Zusammenhang nicht unerwähnt bleiben.

Die aus diesen Fragestellungen resultierende Erkenntnis der Isotopenaustauschgleichgewichte ließ, ebenso wie die Ausnutzung all jener physikalischen Prozesse, in die die Masse der Atome eingeht, eine Trennung bzw. Anreicherung von Isotopengemischen zu. Schon v. HEVESY und PANETH [6] hatten radioaktive Isotope als Indikatoren zur Markierung chemischer und biologischer Abläufe vorgeschlagen und benutzt. Die Möglichkeit der Verwendung stabiler Isotope zu dieser Indikatormethode neben einer Vielzahl physikalischer Problemstellungen gab daher der Entwicklung verschiedener Isotopentrennverfahren einen starken Auftrieb.

Im Jahre 1934 entdeckte das Ehepaar JOLIOT [7], daß durch Bestrahlung stabiler Atomkerne mit α-Teilchen künstlich radioaktive Elementarten entstanden, und in der Folgezeit lernte man, diese mit den verschiedensten Kernreaktionen herzustellen, wobei der Einfang von Neutronen eine hervorragende Rolle einnahm. Diese für die Physik des Atomkerns außerordentlich wichtige Tatsache gewann sehr schnell über den Rahmen der Kernphysik hinaus Bedeutung, weil gerade diese radioaktiven Isotope als Indikatoren besonders geeignet waren und damit das Interesse der gesamten Naturwissenschaft fanden.

Wenn es nun meine Aufgabe ist — als Vorbereitung für die folgenden speziellen Vorträge —, über einige allgemeine Ergebnisse der neueren Isotopenforschung zu berichten, so will ich zunächst die Frage der Isotopenmischungsverhältnisse herausgreifen. Wir werden sehen, daß bei genauem Zusehen teils erhebliche Abweichungen von der Konstanz auftreten, und wir werden uns fragen, wie diese Abweichungen zustande kommen. Dies wird uns zu den Isotopieeffekten bei chemischen Reaktionen führen; wir werden sehen, daß Isotope chemisch eben doch nicht *ganz* identisch sind. Und diese chemischen Unterschiede werden uns zusammen mit anderen physikalisch-chemischen und physikalischen Unterschieden die Möglichkeit einer Trennung von Isotopen liefern. Schließlich werden wir einen Blick auf die Erzeugung künstlich radioaktiver Isotope werfen und einige Bemerkungen zu ihrer Messung machen.

2. Mischungsverhältnisse der Isotope

21. Messung der Mischungsverhältnisse, Massenspektrometrie [8]

211. Ionenoptik. Die moderne Massenspektroskopie ist auf der Erkenntnis aufgebaut, daß sich die Bahnen von Elektrizitätsträgern in elektrischen und magnetischen Feldern ganz analog zu den Bahnen der Lichtstrahlen beim Durchgang durch brechende Medien beschreiben lassen, also durch eine Ionenoptik [9]. Wir wollen uns an Hand von Fig. 1 mit dieser Betrachtungsweise vertraut machen.

Die in einer Ionenquelle I erzeugten Ionen des zu untersuchenden Isotopengemisches werden durch eine Spannung beschleunigt und treten als schwach geöffnetes Bündel durch den Eintrittsspalt E, begrenzt durch den Aperturspalt S, in das magnetische Sektorfeld PS ein. Dort beschreiben die Ionen Kreisbahnen, nach Verlassen des Sektorfeldes ist das Bündel konvergent geworden. Teilchen einer Sorte (Masse) und homogener Energie, welche von E ausgehen, werden so wieder vereinigt, daß in der „Bildebene" BF ein geometrisch optisches Bild des Spaltes E entsteht. Teilchen verschiedener Masse m_1, m_2, m_3 erzeugen verschiedene Bilder in BF, das Sektorfeld bewirkt also eine Abbildung und eine Massendispersion zugleich,

ganz analog zu einem lichtoptischen Spektrometer. In *BF* entstehen also „Spektrallinien", welche auf einer in die Ebene *BF* gelegten photographischen Platte ein „Massenspektrum" aufzeichnen können. Diese Variante des Apparats nennt man Massenspektrograph, er dient zur Abstandsbestimmung der Linien und damit zur genauen Messung der Massen. Zur Bestimmung der Mischungsverhältnisse bringt man in die

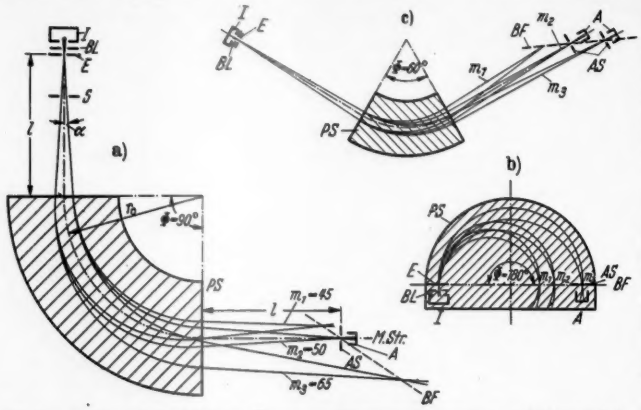


Fig. 1 a—c. Die gebräuchlichsten Typen von Massenspektrometern. a Sektorwinkel $\Phi=90°$; b $\Phi=180°$; c $\Phi=60°$. *I* Ionenquelle, *BL* Beschleunigungssystem, *E* Eintrittsspalt, *S* Strahlbegrenzung, *A* Auffänger, *AS* Auffängerspalt, *BF* Bildfläche, *PS* Polschuhe, *MStr* Mittelstrahl

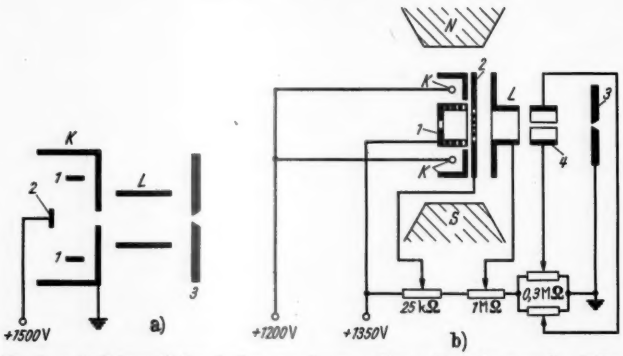


Fig. 2 a u. b. Schematischer Aufbau von Ionenquellen. a Thermionenquelle: *K* Kathode, *L* Linse, *1* zwei geheizte W-Bänder zur Verdampfung der als Salz aufgebrachten Substanz, *2* Anode: geheiztes W-Band hoher Temperatur zur Ionisierung, *3* Eintrittsspalt des Massenspektrometers. b Elektronenstoßionenquelle: *K* Kathode, *L* Linse, *1* Ionisierungsraum, *2* Ziehelektrode, *3* Eintrittsspalt des Massenspektrometers, *4* Ablenkkondensator zur Zentrierung des Ionenbündels auf den Eintrittsspalt

Ebene *BF* einen Austrittsspalt *AS* und einen Auffänger *A* zur Messung der Bündelstromstärke. Mißt man nacheinander oder gleichzeitig die Stromstärken der Massen m_1, m_2, m_3, ..., so gibt deren Verhältnis das Isotopenmischungsverhältnis (*V*) bzw. die relative Häufigkeit (rH) an. Die Größe des Sektorwinkels ist beliebig, Fig. 1 gibt drei gebräuchliche Typen von Spektrometern an.

212. Ionenquellen. An die Ionenquelle ist die Bedingung zu stellen, daß sie Ionen homogener Energie liefert und mit möglichst kleinen Materialmengen eine Messung des Mischungsverhältnisses erlaubt. Zur Erfüllung der ersten Forderung muß die Beschleunigungsspannung sehr gut stabilisiert sein.

Fig. 2 zeigt zwei Typen gebräuchlicher Ionenquellen. In der „Thermionenquelle" mit Glühanode (Fig. 2a) wird die zu untersuchende Substanz auf ein oder zwei geheizte Wolframbänder aufgebracht und verdampft, wobei die Verdampfungsgeschwindigkeit durch die Temperatur geregelt werden kann. Der Dampf trifft auf ein Wolframband hoher Temperatur (Anode), wird dort teilweise ionisiert, die Ionen werden durch Kathode und Linse auf den Eintrittsspalt beschleunigt und fokussiert. Man kann die Substanz auch direkt auf die Anode auftragen; bei der Verdampfung wird sie dann zu einem Teil ionisiert. Mit derartigen Thermionenquellen kann man 75 % aller Elemente im Massenspektrometer untersuchen, wobei Mengen von 1 bis 100 µg, in günstigen Fällen 10^{-11} g ausreichen.

In Fig. 2b ist eine sog. Elektronenstoßionenquelle dargestellt. Aus den Kathoden austretende und durch ein Magnetfeld *NS* geführte Elektronen ionisieren im Ionisierungsraum durch Stoß das Gas oder den Dampf, welche durch eine Öffnung von links eintreten. Ziehblende, Linse und Ablenkkondensator beschleunigen und fokussieren die Ionen wiederum auf den Eintrittsspalt des Massenspektrometers. Alle gasförmigen oder verdampfbaren Substanzen können mit dieser Ionenquelle untersucht werden; Milligramme im ersteren Fall, 0,2 bis 0,4 cm³ von Normalbedingungen im letzteren Fall sind für eine Messung notwendig.

213. Auffänger. Der Auffänger kann entweder als Einfachauffänger (Fig. 3a) oder Doppelauffänger (Fig. 3b) ausgebildet werden. Im ersteren Fall trifft der Bündelstrom eines Isotops in einen Auffängerkäfig und fließt über einen Widerstand *R* zum Spektrometerrohr. Zur Vermeidung von Meßfehlern durch ausgelöste Elektronen wird eine Elektronenblende angebracht. Die Spannung an *R* wird durch einen Gleichstromverstärker in einen bequem meßbaren Stromwert umgesetzt.

Beim Doppelauffänger werden die Ströme von zwei isotopen Ionenbündeln auf zwei getrennte Verstärker gegeben. Die Ausgangsspannung des Verstärkers 2 wird durch den Widerstand *R* geteilt und *gegen* die Eingangsspannung des Verstärkers 1 geschaltet. Durch Variation von *R* kann dadurch die Eingangsspannung am Verstärker 2 Null gemacht, der Abgleich kann am Nullinstrument des Verstärkers 2 abgelesen werden. Die Größe des abgegriffenen Widerstandes *R* ist dann proportional zum Mischungsverhältnis. Die Gesamtanordnung von Ionenquelle, Vakuumkammer einschließlich Pumpeinrichtung, Auffängersystem und Sektormagnet ist in Fig. 4 dargestellt.

214. Meßtechnik. Zur Messung des Isotopenmischungsverhältnisses müssen beim Einfachauffänger abwechselnd Isotop 1 und Isotop 2 auf den Austrittsspalt gebracht werden. Dies geschieht durch Änderung entweder des Magnetfeldes oder der Beschleunigungsspannung; die Fehlerquellen sind im ersten Falle im allgemeinen geringer. Die Änderung

der genannten Werte kann von Hand geschehen, dann werden am Verstärkerausgang (Fig. 3a) abwechselnd Stromwerte für die beiden Isotope abgelesen, ihr Verhältnis gibt das Mischungsverhältnis. Zweckmäßiger ist die Automatisierung des Vorgangs; dann wird an den Verstärkerausgang ein Registriergerät angeschlossen, welches dazu noch den günstigsten Meßbereich selbst wählt und einschaltet. Mit einem solchen Gerät können in 8 Std 20 bis 40 Proben gemessen werden. Fig. 5 zeigt eine Registrierkurve.

Ein Instrument mit Doppelauffänger läßt höchste Genauigkeit erzielen, wenn man ein unbekanntes Gemisch mit einem Standardgemisch unter periodischem Wechsel Standard-Meßprobe vergleicht.

215. Meßgenauigkeit. Die Meßgenauigkeit ist abhängig von der relativen Häufigkeit des zu messenden Isotops; so beträgt bei einem Isotop mit etwa 100% rH der Fehler weniger als 1% (in günstigen Fällen 0,2%), bei 1% rH ist er einige Prozent und bei 0,01% rH von der Größenordnung 50%. Bei Vergleichsmessungen mit dem Doppelauffänger erreicht man Fehler bis herunter zu 0,01% in der rH.

Neben diesen statistischen Fehlern haben die Instrumente jedoch systematische Fehler. Dies ist aus Tabelle 1 zu erkennen, wo die Mischungsverhältnisse

Tabelle 1. *Vergleich von Messungen des Isotopen-Mischungsverhältnisses der Kalium-Isotope 1935—1955*

Beobachter	Bemerkungen	$^{39}K/^{41}K$	$^{39}K/^{40}K$
NIER (1935)	Elektronenstoß auf Kaliumdampf .	13,96 ± 0,10	8600 ± 860
BONDY et al. (1935).	Glühanode . . .	16,2	—
BREWER (1935) . .	Glühanode . . .	14,25 ± 0,04	8300 ± 100
SAMPSON u. BLEAKNEY (1936). . . .	—	—	8600
HANLEY (1936) . .	Magnetisches Moment	13,4 ± 0,5	—
BONDY und VANICEK (1936) . . .	Glühanode . . .	14,0	—
BREWER (1936b, c) .	Glühanode		
	Pflanzenasche .	12,63—14,32	—
	Seewasser (14 Bestimmungen)	14,20 ± 0,0035	—
	Mineralien	14,11—14,6	—
COOK (1943) . . .	Glühanode konstanter Wert aus einer großen Zahl von mineralischen und pflanzlichen Quellen	14,2 ± 0,28	—
PAUL und PAHL (1944)	Elektronenstoß auf KCl-Dampf	13,96 ± 0,10	—
WHITE und CAMERON (1948) . . .	Glühanode . . .	13,66 ± 0,10	—
NIER (1950)	Elektronenstoß auf Kaliumdampf .	13,48 ± 0,07	7800 ± 80
GREENEWALT . . .	Glühanode . . .	13,70 ± 0,07	8140 ± 240
Gewogenes Mittel .	—	13,96	8100

Gewogenes Mittel der relativen Häufigkeit ^{39}K 93,31; ^{40}K 0,0115; ^{41}K 6,68.

der Kalium-Isotope, wie sie von verschiedenen Autoren gemessen worden sind, zusammengestellt wurden. Die Streuung der Einzelwerte ist teilweise wesentlich größer als ihre Fehlergrenzen. Solche systematischen Fehler können z.B. in der verschiedenen Verdampfungsgeschwindigkeit der Isotope in der Ionenquelle, in einer Vordispersion im Magnetfeld der Ionenquelle, in der Gaszu- und -abströmung der Ionenquelle, welche für die Isotope verschieden sein kann, in den magnetischen Eigenschaften des Analysiermagneten und in Streufeldeinflüssen ihre Ursachen haben.

Zur Eliminierung dieser systematischen Fehler muß man das Massenspektrometer mit einem bekannten Standard eichen. NIER hat zu diesem Zweck aus getrennten Argon-Isotopen Standardgemische bekannter

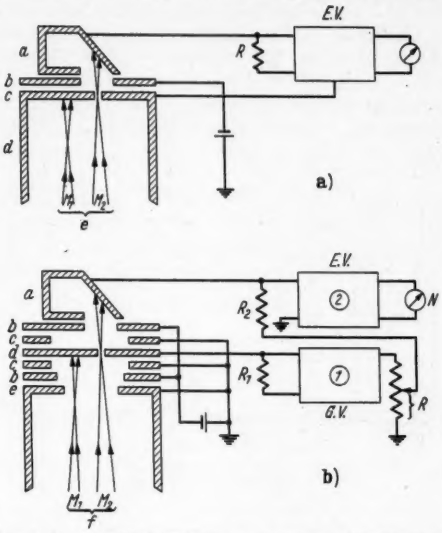


Fig. 3a u. b. a Einfachauffänger. *a* Auffänger, *b* Elektronenblende, *c* Austrittsspalt, *d* Spektrometerrohr, *e* zerlegtes Ionenbündel, *E.V.* Elektrometerverstärker. b Doppelauffänger. *a* Auffänger, *b* Elektronenblende, *c* Schirmelektrode, *d* Schlitzauffänger, *e* Spektrometerrohr, *f* zerlegtes Ionenbündel, *G.V.* 100% gegengekoppelter Verstärker, *E.V.* Elektrometerverstärker, *N* Nullinstrument. Das Mischungsverhältnis M_1/M_2 ist proportional zu *R*, wenn auf null abgeglichen

Isotopenzusammensetzung hergestellt. Dabei zeigte sich, daß der Meßwert vom eingestellten Wert um 7‰ abwich, d.h., daß sein Instrument einen systematischen Fehler dieser Größe besaß. Mit Hilfe dieses Standard-

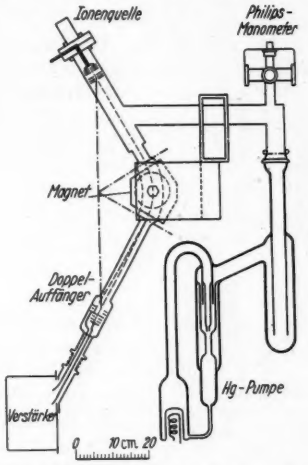


Fig. 4. Übersichtsanordnung eines Massenspektrometers

gemisches konnte NIER einige andere Isotopengemische (z.B. Edelgase, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff) bekannter Herkunft standardisieren.

216. Empfindlichkeit und Auflösungsvermögen. Die „Spektrallinien" des Massenspektrometers haben (vgl. Fig. 5) eine endliche Breite, und daher hat das Gerät

Tabelle 2. *Ausschlußgrenzen für die Scandium-Isotope in 10^{-3}%.* $^{45}Sc = 100$% (Reinelement) [9a]

Massenzahl	41	42	43	44	46	47	48	49
Maximale Häufigkeit	1	0,2	0,2	0,5	2	10	0,2	0,2

ein endliches Auflösungsvermögen in der Größenordnung zwischen 100 und 1000. Diese Linienbreite wird — auch bei beliebig schmalem Eintrittsspalt — verursacht durch Gasstreuung, Nichthomogenität der Ionenenergie, Raumladungseffekte u. a. Besonders

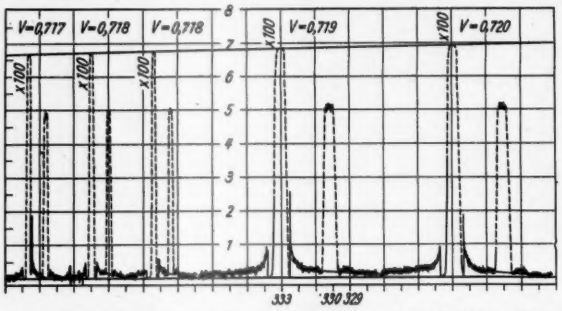


Fig. 5. Registrierkurve der Isotopenhäufigkeit von natürlichem Uran, gemessen an Uranhexafluorid

stark prägen sich diese Effekte aus im „Linienfuß", wodurch die Nachweisempfindlichkeit für schwache Isotope begrenzt wird. In guten Massenspektrometern kann man bei der Massenzahl 100 Isotope im Verhältnis $1:10^5$ gerade noch nachweisen. Dadurch kommt man zu einer Grenze, mit der man das Vorhandensein stabiler Isotope ausschließen kann. Tabelle 2 zeigt diese Ausschlußgrenzen für die „möglichen" Isotope des Reinelements Scandium.

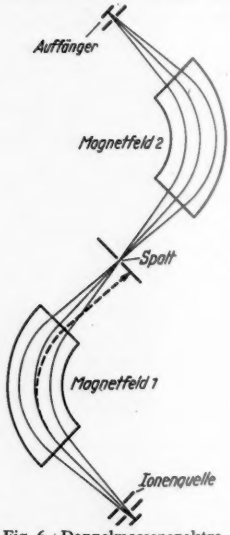


Fig. 6. Doppelmassenspektrometer (Doppelmonochromator) zur Erzielung hoher Nachweisempfindlichkeit (INGHRAM und HESS [8])

Die Empfindlichkeit und damit die Nachweis- und Ausschlußgrenze kann man auf $1:10^8$ heraufsetzen, wenn man einen „Doppelmonochromator" nach Fig. 6 verwendet.

22. Konstanz der Mischungsverhältnisse

221. Radiogene Elemente.

Die Isotopenmischungsverhältnisse der Elemente können laufend dadurch verschoben werden, daß auch heute noch dauernd Isotope bestimmter Massenzahl entstehen. Das ist der Fall beim Zerfall der natürlichen radioaktiven Elemente. So entsteht aus $^{238}U \rightarrow {}^{206}Pb$, $^{235}U \rightarrow {}^{207}Pb$ und aus $^{232}Th \rightarrow {}^{208}Pb$, über die bekannten radioaktiven Reihen. Die Blei-Isotope 206, 207 und 208 sind stabil. Je nach dem Gehalt eines Gesteins an Uran oder Thorium-Mineralien und nicht radiogenem Blei wird das im Gestein enthaltene Blei eine ganz verschiedene Isotopenzusammensetzung aufweisen [10]. In ähnlicher Weise zerfällt ^{87}Rb durch Aussendung eines negativen Elektrons in ^{87}Sr, und ^{40}K kann durch β^--Zerfall in ^{40}Ca, durch Einfang eines Elektrons aus der K-Schale der Hülle in den Kern in ^{40}A übergehen. Dementsprechend wird ein Sr aus einem rubidiumhaltigen Gestein reicher an ^{87}Sr sein, und das Argon aus Kali-Mineralien wird im wesentlichen aus ^{40}A bestehen. Die Massenspektren der Fig. 7 [11] zeigen dies deutlich.

Die Messung der Isotopenmischungsverhältnisse derartiger radiogener Gemische gestattet Rückschlüsse auf das Alter des betreffenden Gesteins, wenn die Halbwertszeit des radioaktiven Isotops bekannt ist; darauf wird in anderen Vorträgen eingegangen. Umgekehrt kann in besonders gelagerten Fällen aus der bekannten Datierung eines Gesteins die Halbwertszeit eines Strahlers bestimmt werden.

Weitere Beispiele solcher radiogener Verschiebung des Isotopenmischungsverhältnisses sind das ^{187}Re [12], welches in ^{187}Os zerfällt, und die Krypton- und Xenonfraktionen aus alter Pechblende, welche herrührend von spontaner Spaltung von ^{238}U die „Spaltisotope" von Kr und Xe bevorzugt enthalten [13].

In diesem Zusammenhang muß auch hingewiesen werden auf die sog. induzierten natürlichen Strahler. So entsteht durch die schnellen Neutronen der Höhenstrahlung aus einem ^{14}N-Kern durch einen Prozeß, bei dem das Neutron absorbiert und ein Proton emittiert wird, ein ^{14}C-Kern mit einer Halbwertszeit von 5570 Jahren, oder durch einen anderen Prozeß, bei dem das Neutron ebenfalls stecken bleibt, dafür aber ein Triton emittiert wird, ein ^{12}C-Kern. Dieser Prozeß ist eine der Quellen des in der Natur vorkommenden ^3H ($T_{\frac{1}{2}} = 12{,}4\,a$).

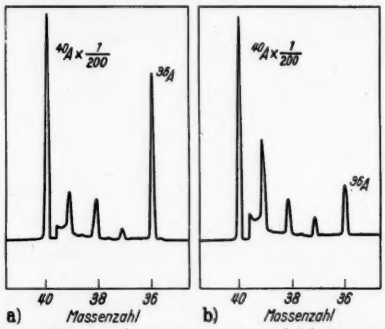


Fig. 7 a u. b. Massenspektren a von atmosphärischem Argon und b von Argon aus dem Kali-Mineral Langbeinit. Im letzteren ist das $^{40}A/^{36}A$-Verhältnis 3mal größer als im atmosphärischen Argon. (Die Linien bei 37 und 39 stammen von Verunreinigungen) [11]

222. Abweichungen von der Konstanz.

Abweichungen von der Konstanz der Mischungsverhältnisse finden sich vor allem bei den Elementen Helium, Bor, Kohlenstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Schwefel. Einige Beispiele sollen dies illustrieren.

Schwefel ($^{32}S:{}^{33}S:{}^{34}S:{}^{36}S = 95{,}018:0{,}750:4{,}215:0{,}017 =$ Standard). Fig. 8 zeigt das Mischungsverhältnis von Schwefelproben verschiedener terrestrischer und meteoritischer Herkunft [14]. Die Messungen sind alle gegen ein und denselben Standard ausgeführt und mit einem Fehler von weniger als 0,1% behaftet. Bei der Betrachtung von Fig. 8 fällt auf, daß das Verhältnis $^{32}S:{}^{34}S$ der Schwefelgemische aus irdischen

Quellen um 7% variiert, während die aus Meteoriten gewonnenen Schwefelproben innerhalb der Fehlergrenze das gleiche Mischungsverhältnis aufweisen. Die Sulfate irdischer Herkunft sind an ^{34}S angereichert, die Sulfide und H_2S enthalten relativ mehr ^{32}S. Selbst innerhalb desselben Minerals findet man eine breite Variation je nach Fundort. Der Schwefel aus vulkanischen Gesteinen hingegen zeigt eine ganz ähnliche Isotopenzusammensetzung wie der meteoritische Schwefel. Daraus ist zu schließen, daß die Bildung der verschiedenen Nuklide unter gleichen Bedingungen erfolgte und der meteoritische ebenso wie der vulkanische Schwefel den „Urschwefel" repräsentieren. Der andere Schwefel irdischer Herkunft hingegen ist geologischen, chemischen oder biologischen Prozessen unterworfen gewesen, in denen eine Verschiebung der Isotopenmischungsverhältnisse eingetreten ist. Wir werden später solche Prozesse kennenlernen.

Kohlenstoff ($^{12}C:^{13}C = 98{,}9:1{,}1$ aus Kalkstein). Im Kohlenstoff sind ähnlich wie im Schwefel in irdischen Proben verschiedener Herkunft Abweichungen bis zu 5% festgestellt worden [*15*], im Gegensatz zum Schwefel variieren aber beim Kohlenstoff auch die meteoritischen Herkommen um 2,5%. Bei dem entscheidenden Anteil des Kohlenstoffs am Chemismus in der Natur ist dies ebenfalls aus den später zu besprechenden Austauschreaktionen zu verstehen.

Sauerstoff ($^{16}O:^{17}O:^{18}O = 99{,}759:0{,}0374:0{,}2039$, atmosphärisch). Das Mischungsverhältnis der Sauerstoffisotope spielt eine große Rolle für den Umrechnungsfaktor zwischen chemischer und physikalischer Atomgewichtsskala. Wegen der Schwankungen im Mischungsverhältnis verschiedener Proben schwankt auch dieser Faktor in den Grenzen 1,000278 bis 1,000268 [*16*], und es ist daher sinnlos, chemische Atomgewichte genauer als auf 10^{-5} anzugeben.

23. *Isotopenverdünnungsmethode*

Die massenspektrometrische Methode kann mit großem Vorteil bei der quantitativen Spurenanalyse benutzt werden. Ist etwa die Aufgabe gestellt, ein spurenweise vorhandenes Element in einem Gestein oder einem Meteoriten quantitativ zu bestimmen, so ist man bei Anwendung chemischer Verfahren gezwungen, sowohl quantitativ als „rein" zu arbeiten, zwei Forderungen, die sich im allgemeinen gegenseitig ausschließen. Unter Verwendung getrennter Isotope und massenspektrometrischer Analyse kann man die Forderung nach quantitativer Abtrennung fallen lassen. Zu diesem Zweck gibt man zu dem vollständigen Aufschluß einer abgewogenen Menge des Gesteins, welche die unbekannte Menge x des Spurenelements enthält — dieses soll die normale Isotopenzusammensetzung V_0 haben —, eine bekannte Menge a eines angereicherten Gemisches vom Mischungsverhältnis V_a. Das durch innige Vermischung entstehende Isotopengemisch unterzieht man nach Abtrennung einer Isotopenanalyse und findet das Mischungsverhältnis V_m. Dann erhält man die unbekannte Menge x aus der Formel

$$x = a\left(\frac{V_a}{1+V_a} - \frac{V_m}{1+V_m}\right)\Big/\left(\frac{V_m}{1+V_m} - \frac{V_0}{1+V_0}\right).$$

Die Leistungsfähigkeit dieser Methode gegenüber anderen ist aus Tabelle 3 zu ersehen. Es ist nicht sehr

Tabelle 3. *Nachweisgrenze und Meßfehler bei der Spurenanalyse von Uran und Blei in Mineralien und Meteoriten.*

Methode	Nachweisgrenze absolut µg	Nachweisgrenze relativ ppm	Ungenauigkeit %
Spektralanalyse	0,5	1000	5
Spektralanalyse in Verbindung mit chemischer Aufbereitung	0,5	25	5
Massenspektrometer mit Funkenionenquelle	0,003	3	2 bis 3
Isotopenverdünnungsmethode (Thermionenquelle, Auffänger mit Multiplier)	0,0000002	10^{-6}	1 bis 2

schwierig, auf diese Weise 10^{-9} g U in 1 g Seewasser oder in 1 g Meteorit quantitativ zu bestimmen. Verwendet man Massenspektrometer höchster Empfindlichkeit, so kann man bei vielen Elementen 10^{-12} g

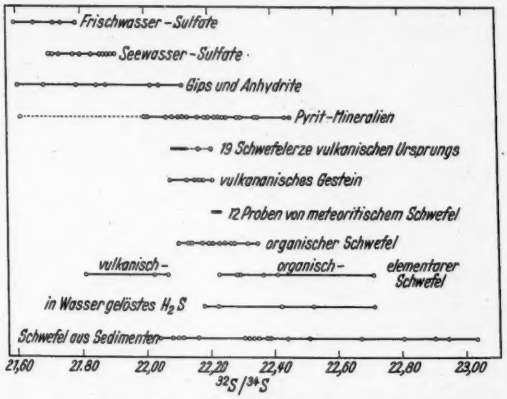


Fig. 8. Verteilung des Schwefelisotops ^{34}S in terrestrischem und meteoritischem Schwefel [*14*]

und für die Alkalien K, Rb, Cs 10^{-14} g noch nachweisen. Ein weiterer Vorteil dieser Methode ist, daß äußerst kleine Materialmengen ausreichen. Fig. 9 zeigt die Massenspektren, welche bei der Anwendung der Methode auf die Bestimmung des Urangehaltes eines Meteoriten gewonnen wurden [*17*].

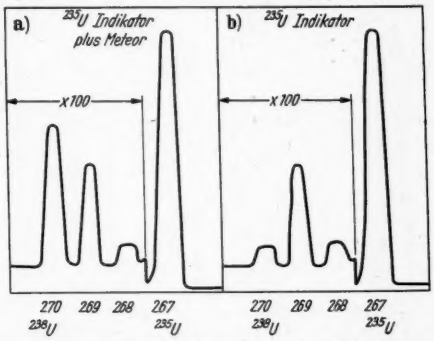


Fig. 9 a u. b. Bestimmung des Urangehaltes eines Meteoriten nach der Isotopenverdünnungsmethode. b Massenspektrum von fast reinem ^{235}U als Indikator. a Massenspektrum des nach Beimischung des Indikators aus dem Uranaufschluß abgetrennten Urans. Gemessen an UO_2. Die Linien bei 268 und 269 rühren von den Sauerstoffisotopen ^{17}O und ^{18}O her [*17*]

Die Isotopenverdünnungsmethode hat große Bedeutung für die Anwendung stabiler Indikatoren in allen Zweigen der Naturwissenschaft.

3. Chemischer Unterschied der Isotope

31. Austauschreaktionen

Wenn wir den chemischen Unterschied der Isotope kennenlernen wollen, müssen wir in die Partner einer chemischen Reaktion einmal ein schweres, ein zweites Mal ein leichtes Isotop einsetzen und die Gleichgewichtskonstante dieser beiden Reaktionen beobachten. Wir betrachten zu diesem Zweck die beiden Reaktionen

$$CH_3OH + D\underline{DO} \rightleftharpoons CH_3OD + H\underline{DO} \qquad (1)$$

und

$$CH_3OH + D\underline{HO} \rightleftharpoons CH_3OD + H\underline{HO}. \qquad (2)$$

Die beiden Reaktionen unterscheiden sich dadurch, daß in (2) ein H-Atom an der Stelle des D-Atoms in (1) sitzt. Die Gleichgewichtskonstante der ersten Reaktion

$$K_{(1)} = [CH_3OH] \cdot [D_2O]/[CH_3OD] \cdot [HDO]$$

wird experimentell größer gefunden als die Gleichgewichtskonstante der zweiten Reaktion

$$K_{(2)} = [CH_3OH] \cdot [DHO]/[CH_3OD] \cdot [H_2O],$$

und zwar findet man $K_{(1)} = 2{,}0$, $K_{(2)} = 0{,}5$, also einen ganz erheblichen Unterschied, woraus hervorgeht, daß die Isotope chemisch eben nicht gleich sind.

Man kann den Unterschied im Gleichgewicht der Reaktionen (1) und (2) auch so beschreiben, daß die durch Subtraktion der Gln. (1) und (2) entstehende „Austauschreaktion"

$$DDO + HHO \rightleftharpoons HDO + DHO \qquad (3)$$

eine von eins verschiedene Gleichgewichtskonstante hat. Durch eine einfache Rechnung findet man:

$$K_{(3)} = K_{(1)}/K_{(2)} = \frac{[DDO]}{[HDO]} \Big/ \frac{[DHO]}{[HHO]} = 4.$$

Man erkennt sofort, daß

$$K_{(3)} = {}^{D}_{H}V_1/{}^{D}_{H}V_2$$

ist, was besagt, daß das Mischungsverhältnis der Wasserstoffisotope D:H, welche an DO gebunden sind, viermal so groß ist wie das Mischungsverhältnis derjenigen, welche an HO gebunden sind.

Dieser experimentelle Befund kann nur quantentheoretisch gedeutet werden, während er klassisch unverständlich ist. Die Gleichgewichtskonstante einer chemischen Reaktion [*18*] erhält man quantentheoretisch als Produkte bzw. Quotienten der sog. Zustandssummen, und in diese gehen die Massen der Molekeln ein; sie ändern sich also, wenn man ein leichtes Isotop durch ein schweres ersetzt. Und damit wird die Gleichgewichtskonstante von der Isotopie abhängig.

Die Quantentheorie liefert für die Gleichgewichtskonstante zwischen den Partnern 1, 2, 3, 4 einer Reaktion den Ausdruck

$$K = Z_1 \cdot Z_2 / Z_3 \cdot Z_4 .$$

Darin bedeuten die Größen Z die sog. Zustandssummen:

$$Z = \sum_k e^{-\varepsilon_k/kT}$$

in denen über alle möglichen Energiewerte ε_k der Translations-, Rotations- und Schwingungszustände zu summieren ist. Unter der Voraussetzung, daß Translation, Rotationen und Schwingungen voneinander unabhängig sind, kann man die Zustandssummen in Produkte zerlegen, deren Faktoren die Translations-, Rotations- und Schwingungsanteile sind. Bildet man dann den Wert für die Gleichgewichtskonstante, so ergibt sich:

$$\left.\begin{aligned} K = \frac{s_1 \cdot s_2}{s_3 \cdot s_4} \Bigg\{ \left(\frac{M_3 \cdot M_4}{M_1 \cdot M_2}\right)^{\frac{3}{2}} \cdot \Pi \left(\frac{\Theta_3 \cdot \Theta_4}{\Theta_1 \cdot \Theta_2}\right)^{\frac{1}{2}} \times \\ \times \frac{(1-e^{-b\omega_1})\,(1-e^{-b\omega_2})}{(1-e^{-b\omega_3})\,(1-e^{-b\omega_4})}\, e^{-\frac{b}{2}(\omega_3+\omega_4-\omega_1-\omega_2)} \Bigg\}. \end{aligned}\right\} \qquad (01)$$

Die Produkte Π sind — entsprechend den Summen — über die möglichen Werte der entsprechenden Ausdrücke zu bilden. Die Werte s stellen die sog. Symmetriezahlen dar, sie gehen ein, weil die Zahl der Realisierungsmöglichkeiten eines Zustandes von der Symmetrie abhängt. Die Masse, welche beim Vergleich zweier Isotopenreaktionen die Veränderliche darstellt, ist in K zunächst direkt enthalten, sie steckt aber auch in den Trägheitsmomenten Θ und in den Schwingungsfrequenzen ω. Zur Berechnung der Gleichgewichtskonstanten ist also eine Kenntnis dieser Größen notwendig. Nun kann man glücklicherweise die Trägheitsmomente durch die Schwingungsfrequenzen ausdrücken und diese wiederum spektroskopischen Daten entnehmen, so daß eine zahlenmäßige Berechnung der Gleichgewichtskonstanten von Isotopen- und Austauschreaktionen möglich wird. UREY und seine Mitarbeiter und andere haben dies getan. Nur beim Wasserstoff mit seinen in der Masse sehr stark unterschiedlichen Isotopen erhält man so hohe Werte für die Gleichgewichtskonstante einer Austauschreaktion wie im obigen Beispiel, bei Austauschreaktionen etwa der Kohlenstoff-, Stickstoff-, Sauerstoff- oder Schwefelisotope ist K nur um einige Prozent von eins verschieden.

Eine genaue Analyse von Gl. (01) ergibt eine einfache Faustregel für die „Richtung" einer Austauschreaktion: Das schwere Isotop hält sich bevorzugt in der Molekel auf, die mehr Freiheitsgrade besitzt. Wir wollen dazu zwei Beispiele betrachten, zunächst den Austausch der Sauerstoffisotope zwischen Wasser und darin gelöstem Kalk, also dem $CO_3^{=}$-Ion [*18*]. Die diesbezügliche Reaktion ist so zu formulieren:

$$H_2{}^{18}O + C^{16}O_2{}^{16}O^{=} \rightleftharpoons H_2{}^{16}O + C^{16}O_2{}^{18}O^{=}. \qquad (4)$$

Die Molekel $CO_3^{=}$ hat mehr Freiheitsgrade als die Molekel H_2O; also finden wir relativ mehr ^{18}O im $CO_3^{=}$ und auch im gegebenenfalls auskristallisierten Kalk.

Weiter betrachten wir ein System, das aus einer Lösung von Ammoniumnitrat in Wasser, speziell aus dem NH_4^+-Ion im Wasser, einerseits und NH_3-Gas andererseits besteht [*19*]. Das NH_3-Gas wird sich im Wasser lösen, dabei wird die erste „Austauschreaktion" stattfinden:

$$(^{15}NH_3)_{gas} + (^{14}NH_3)_{gelöst} \rightleftharpoons (^{14}NH_3)_{gas} + (^{15}NH_3)_{gelöst}. \qquad (5)$$

Die NH_3-Molekel in Lösung hat erstens mehr Freiheitsgrade wegen der zusätzlichen Schwingungen gegen das Wasser (die Umgebung); aus diesem Grund muß nach unserer Faustregel das ^{15}N-Isotop in der gelösten Phase angereichert sein. Zweitens aber können die Frequenzen der inneren Schwingungen geändert werden; darauf läßt sich unsere Faustregel nicht anwenden; das Experiment liefert jedoch einen Effekt in der gleichen Richtung, so daß also das schwere Stickstoffisotop in der gelösten Phase angereichert wird.

Zu dieser ersten Austauschreaktion kommt eine zweite hinzu:

$$(^{15}NH_3)_{gelöst} + {}^{14}NH_4^+ \rightleftharpoons (^{14}NH_3)_{gelöst} + {}^{15}NH_4^+. \qquad (6)$$

Wir sehen an Hand unserer Faustregel sofort, daß ^{15}N das Ammonium-Ion bevorzugt, so daß also der bei der Lösung auftretende Effekt verstärkt wird, wobei allerdings der letztere Effekt den ersteren wesentlich übertrifft, wie die Rechnung zeigt.

Durch Kombination von (5) und (6) erhalten wir das Austauschgleichgewicht zwischen Gasphase und Ion in der Lösung

$$(^{15}NH_4)^+_{fl} + (^{14}NH_3)_{gas} \rightleftharpoons (^{14}NH_4)^+_{fl} + (^{15}NH_3)_{gas} \qquad (7)$$

mit der Gleichgewichtskonstanten

$$K_{(7)} = \frac{(^{15}NH_4)^+_{fl}/(^{14}NH_4)^+_{fl}}{(^{15}NH_3)_{gas}/(^{14}NH_3)_{gas}} = {}^{15}_{14}V_{fl}/{}^{15}_{14}V_{gas}.$$

Wiederum ist die Gleichgewichtskonstante der Quotient der Mischungsverhältnisse in den beiden Phasen; sie gibt also den Trennfaktor der Austauschreaktion (vgl. *41*). Die Rechnung liefert für eine Temperatur von 25° C den Wert $K_{(7)} = 1{,}035$.

32. Temperaturabhängigkeit der Gleichgewichtskonstanten einer Austauschreaktion, Paläotemperaturen

Die Gleichgewichtskonstante der Reaktion (4) wurde von UREY u. a. [*18*] bei 0° C zu $K_{(4)} = 1{,}0220$ und bei 25° C zu $K_{(4)} = 1{,}0176$ berechnet. Mit höher werdender Temperatur wird also der chemische Unterschied der Isotope kleiner (was bei einem Quanteneffekt auch zu erwarten ist).

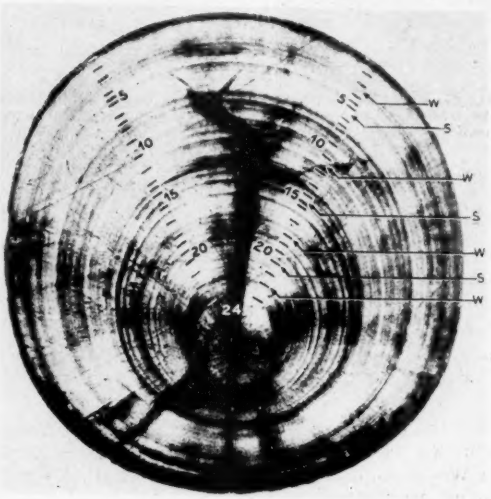
Fig. 10. Registrierkurve des Massenspektrometers mit Doppelauffänger und Doppeleinlaßsystem: Messung des ^{18}O-Gehaltes in der Kalkschale von Belemniten. Der Unterschied im ^{18}O-Gehalt beträgt 0,63 % des ^{18}O-Gehaltes. Meßgenauigkeit 0,1‰ des ^{18}O-Gehaltes

Diese Tatsache benutzten UREY u. a. [*20*] zur Bestimmung der Meerestemperatur in früheren Erdperioden. Sie gingen dabei von folgender Überlegung aus. In den Sedimenten von Trias bis Eozän findet man Leitfossilien, welche die spitzen Endstücke der Schale fossiler Weichtiere des Meeres, der sog. Belemniten, sind. Diese Schalen wurden seinerzeit aus dem im Meere gelösten Kalk aufgebaut, also muß das ^{18}O:^{16}O-Verhältnis dieses Kalkes einen Schluß auf die Temperatur des damaligen Meeres zulassen, wenn man annimmt, daß das ^{18}O:^{16}O-Verhältnis des Meerwassers damals und heute dasselbe waren, was wegen der großen Wassermenge richtig sein dürfte. UREY und Mitarbeiter untersuchten daher die Sauerstoffisotopenzusammensetzung des Belemnitenkalkes. Da nach den oben angegebenen Zahlen die Gleichgewichtskonstante und damit gleichbedeutend das Isotopenmischungsverhältnis sich um 0,0002 pro Grad verschiebt, erfordert eine solche Untersuchung eine massenspektrometrische Meßgenauigkeit von wenigstens 0,02%. Diese wurde erreicht durch Verwendung eines Doppelauffängers (Fig. 3b) und eines Doppeleinlaßsystems, bei dem abwechselnd das Standardgas und das Meßgas in die Apparatur eingelassen wurden. Fig. 10 zeigt zur Veranschaulichung der Meßgenauigkeit einen Registrierstreifen. In Fig. 11 sind die Ergebnisse wiedergegeben. Oben ist ein Schnitt durch den verwendeten Belemniten gelegt, er zeigt eine Art „Jahresringe". Die Kalkproben wurden den einzelnen Ringen entnommen. Unten ist in Fig. 11 die aus dem ^{18}O:^{16}O-Verhältnis berechnete Temperatur in Abhängigkeit vom Radius des Ringes aufgetragen. Man sieht darin die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen und kann sogar die Lebensdauer des Tieres ablesen. Die Temperaturwerte sind von unseren heutigen nicht wesentlich verschieden.

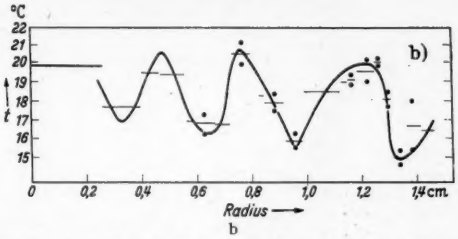
4. Isotopentrennung

41. Einzelprozesse, Trennfaktor

Zur Trennung von Isotopen [*21*], [*22*] können alle diejenigen physikalischen und chemischen Prozesse herangezogen werden, die von der Masse abhängen,



a



b

Fig. 11a u. b. a Querschnitt durch die Kalkschale eines Belemniten des Kreidemeeres; b Temperatur des Wassers zur Zeit der Abscheidung des Kalks in Abhängigkeit vom Radius der „Jahresringe" [*20*]

d.h., bei denen in zwei voneinander räumlich getrennten Gebieten I und II ein Unterschied im Isotopenmischungsverhältnis auftritt. Zur Beurteilung dieser Prozesse führt man den „Trennfaktor" ein, den man als den Quotienten der Mischungsverhältnisse in den Gebieten I und II definiert.

$$q = V_I/V_{II}.$$

In Fig. 12 sind einige der wichtigen Einzelprozesse zur Isotopentrennung dargestellt. Bei der *Trennwanddiffusion* wird ein Strom L des normalen Isotopengemisches in zwei Teile zerlegt; der Anteil ΘL streicht durch die untere Kammer, der Anteil $(1-\Theta)\,L$ wird durch eine feinporige Wand nach oben abgepumpt. Bei der Diffusion durch die Wand ist der Teilstrom schneller, also leichter Molekeln größer als der Teilstrom

langsamer, also schwerer Molekeln. Deshalb wird der obere Strom an leichten, der nach rechts gehende untere Strom an schweren Molekeln angereichert

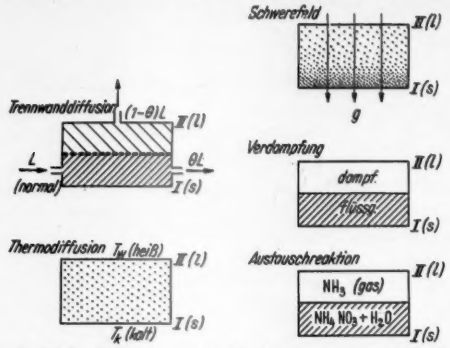


Fig. 12. Einige Einzelprozesse zur Isotopentrennung. σ Molenbruch der schweren Komponente (s); λ Molenbruch der leichten Komponente (l); $V = \sigma/\lambda$ Mischungsverhältnis; $q = V_I/V_{II}$ Trennfaktor

Trennwanddiffusion. $(q-1) = \left(\sqrt{\frac{m_s}{m_l}} - 1\right) \frac{\ln 1/\Theta}{1-\Theta}$

Thermodiffusion. $q = 1 + a \frac{m_s - m_l}{m_s + m_l} \ln\left(\frac{T_w}{T_k}\right)$

a = Konstante, die vom Kraftgesetz zwischen den Molekeln abhängt.

Schwerefeld. Für Zentrifuge Radius R, Winkelgeschwindigkeit ω:

$$q = \exp(m_s - m_l)\, \omega^2 R^2 / 2kT$$

Verdampfung $p_{H_2{}^{18}O}/p_{H_2{}^{16}O} = 1{,}013$ bei 11° C

Austauschreaktion $^{15}NH_{3\,gas} + {}^{14}NH_4^+n \rightleftharpoons {}^{14}NH_{3\,gas} + {}^{15}NH_4^+n$

$q = K$ (Gleichgewichtskonstante)

sein. Da sich die Molekulargeschwindigkeiten umgekehrt wie die Wurzeln aus den Massen verhalten, wird die Wurzel aus dem Massenverhältnis wesentlich in den Trennfaktor eingehen.

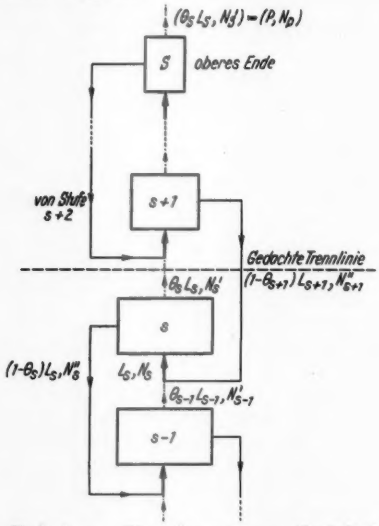


Fig 13. Kaskade aus Trennelementen zur Vervielfachung des Einzelprozesses. —·— Angereicherte, —— abgereicherte Fraktion, ——— zugeführtes Gemisch

Bei der *Thermodiffusion* reichert sich die leichte Komponente an einer heißen, die schwere an einer kalten Wand an.

Im *Schwerefeld* tritt ein Sedimentationsgleichgewicht auf, derart, daß in Richtung der Schwerefeldstärke das schwere Isotop häufiger sein wird. Diesen Effekt nutzt man wegen der Möglichkeit der Erzeugung höherer Trennfeldstärken zweckmäßig in der Zentrifuge aus.

Bei der *Verdampfung* ist der Dampfdruck der leichten Komponente im allgemeinen größer als der der schweren. Dies führt zu einem Unterschied im Mischungsverhältnis zwischen Dampfphase und flüssiger Phase.

Schließlich führt die Anwendung von *Austauschreaktionen* zu einer Verschiebung des Mischungsverhältnisses, wie im vorigen Kapitel ausführlich dargelegt wurde.

Der Trennfaktor all dieser Prozesse ist — ähnlich wie die Gleichgewichtskonstante der Austauschreaktionen — wenig von eins verschieden, man erhält also im Einzelprozeß nur eine Verschiebung des Mischungsverhältnisses um einige Prozent oder weniger. Daher ist es nötig, zur Erzielung einer wirksamen Isotopentrennung mit hoher Anreicherung ein Vervielfachungsprinzip anzuwenden.

42. *Vervielfachung*

Zur Vervielfachung des Einzelprozesses schaltet man eine große Zahl von Einzelelementen in geeigneter Weise hintereinander [22]. Dies soll am Beispiel der Trennwanddiffusion besprochen werden. In Fig. 13 ist eine solche „Kaskade" von Trennelementen dargestellt. Das Element mit der Nummer s erhält von unten den Strom L_s mit der Konzentration N_s (z.B. der schweren Komponente); der an schwerer Komponente angereicherte Strom $\Theta_s \cdot L_s$ (vgl. Fig. 12) geht zum Glied $s+1$, der an leichter Komponente angereicherte Strom $(1-\Theta)\, L_s$ wird zum Eingang des Elements $s-1$ zurückgeführt, weil an dieser Stelle dieselbe Gemischzusammensetzung herrscht ($N_s'' = N_{s-1}$), Auf diese Weise wird laufend bevorzugt schwere Komponente nach oben, leichte Komponente nach unten befördert. Durch eine gedachte Trennlinie fließen zwei — im Falle keiner Entnahme gleich große — entgegengesetzt gerichtete Ströme, die in ihrer Zusammensetzung etwa um den Trennfaktor verschieden sind. Von Stufe zu Stufe tritt eine Verschiebung des Mischungsverhältnisses etwa um den Faktor q und bei z Elementen zwischen Anfang und Ende um den Faktor q^z ein. Wird am oberen Ende laufend ein Produktionsstrom entnommen, so sinken der Trennfaktor des Einzelelements und damit der Gesamtanreicherungsfaktor ab, und man hat mit einem „wirksamen" Trennfaktor zu rechnen. Durch jede gedachte Trennlinie muß dann der am oberen Ende entnommene Strom fließen, in der Weise, daß der Aufwärtsstrom um diesen Betrag größer als der Abwärtsstrom ist. Da nun (in unserer Betrachtung, man kann genau so das umgekehrte machen) am oberen Ende ein am schweren Isotop angereicherter Produktionsstrom (P, Konzentration N_p) gewünscht wird, d.h. der Strom $P \cdot N_p$ an schwerem Isotop entnommen wird, muß unten der gleiche Strom an schwerem Isotop, d.h. aber ein viel größerer Strom an Ausgangsgemisch in die Kaskade hineinfließen, es muß $L_0 \cdot N_0 = P \cdot N_p$ sein. Es ist daher zweckmäßig, unten große Elemente und oben kleine Elemente zu verwenden. Man muß dann nur überlegen, ob man diese Staffelung von Stufe zu Stufe um den Trennfaktor des Einzelelements vornehmen will (lineare Staffelung) oder ob eine andere Staffelung günstiger

ist. Die Wahl der günstigsten Kaskade wird von einer weiteren Bedingung bestimmt, der Wirtschaftlichkeit. Durch jedes Trennelement (bei großen Strömen kann man eine Anzahl kleinerer parallel schalten) muß ein bestimmter Strom gepumpt werden. Wählt man die optimale Kaskade so, daß die Summe aller Ströme durch alle Elemente ein Minimum wird, so werden die Trennelemente möglichst klein, die Pumpen und die Pumpleistung minimal und damit die Anschaffungs- und Betriebskosten minimal. Die Durchführung dieser Optimalrechnung führt zu einer „idealen Kaskade", wie sie in Fig. 14 dargestellt ist. Die Stromstärke nimmt nach oben in der gezeichneten Weise ab.

Betrachten wir noch einmal das untere Ende, etwa das Glied $s-1$ in Fig. 13, so erkennen wir, daß zwischen dem Zustrom und dem Abstrom, der als Abfallprodukt zu betrachten ist, nur eine Verschiebung im Mischungsverhältnis um den Trennfaktor bzw. bei der arbeitenden Kolonne um einen Bruchteil hiervon vorhanden ist. Dementsprechend würden aus dem Isotopengemisch bei $q=1{,}02$ höchstens 2%, in Wirklichkeit ein Bruchteil von 2%, des anzureichernden seltenen Isotops herausgeholt, so daß ein immenser Aufwand an Ausgangsmaterial nötig wäre. Deshalb setzt man an das untere Ende (vgl. Fig. 14) eine Abreicherungskaskade, die das Ausgangsgemisch auf etwa 50% abreichert, so daß also dieser Prozentsatz des seltenen Isotops aus dem natürlichen Gemisch gewonnen werden kann. Dieser Prozentsatz und damit die Länge der Abreicherungskaskade wird wiederum durch wirtschaftliche Gesichtspunkte bestimmt: Die Kosten des Ausgangsmaterials müssen gegen die Kosten der Abreicherungskolonne abgewogen werden.

Der Aufbau einer „idealen Kaskade" wird sich nur bei großen Anlagen lohnen. Bei kleinen Trennanlagen wird man stufenweise „Rechteckkaskaden" hintereinanderschalten, d.h., die Stromstärke bleibt über eine große Anzahl von Einzelelementen konstant und ändert sich dann für eine weitere Zahl von Einzelelementen sprunghaft. Dieses Verfahren wendet man beim Trennrohr [23] und bei der chemischen Austauschreaktion [24] an. Bei der letzteren füllt man ein zylindrisches Rohr mit Glasspiralen oder Porzellankörpern (Füllkörperkolonne) und läßt im Gegenstrom von oben nach unten die Lösung fließen, von unten nach oben das Gas strömen, so daß sich „horizontal" jeweils das Austauschgleichgewicht einstellt.

43. *Elektromagnetische Isotopentrennung* [25]

Das Massenspektrometer (Fig. 1) ist seiner Bestimmung nach eine Anordnung zur Trennung von Isotopen. Die Stromstärken, welche bei der Massenspektrometrie Verwendung finden (Größenordnung 10^{-9} Amp und kleiner), sind allerdings so klein, daß die damit erzielbaren Mengen unwägbar klein sind. Deshalb hat man seit langer Zeit versucht, Massenspektrographen hoher Stromstärke zu bauen. Nach dem Faradayschen Gesetz entspricht eine Stromstärke von 1 mA beim Atomgewicht 100 nur 4 mg/Std. Daher ist ein erheblicher Aufwand nötig, um eine elektromagnetische Isotopentrennung im technischen Maßstab durchzuführen.

Der Vorteil des Massenspektrographen ist sein großer Trennfaktor: genügend hohes Auflösungsvermögen vorausgesetzt, kann man reine Isotope in einem „Einzelprozeß" herstellen. Abbildungsfehler, Inhomogenität der Ionenenergie, Raumladungseffekte und Gasstreuung geben allerdings dem Massenspektrographen ein endliches Auflösungsvermögen, so daß auch hier nur eine endliche, wenn auch hohe Anreicherung in einem Gang möglich ist.

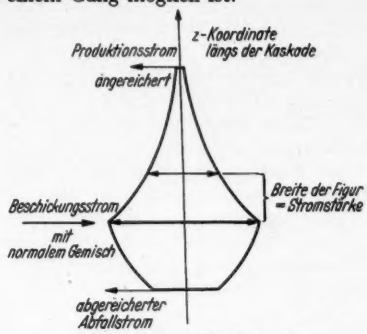


Fig. 14. Optimale Kaskade

Der wirksamste elektromagnetische Isotopentrenner (Calutron) wurde während des Krieges in den Vereinigten Staaten entwickelt. Fig. 15 zeigt schematisch die Anordnung. In einer Ionenquelle wird das zu trennende Material verdampft und in einer Bogenentladung von 2 Amp ionisiert, mit einer Spannung

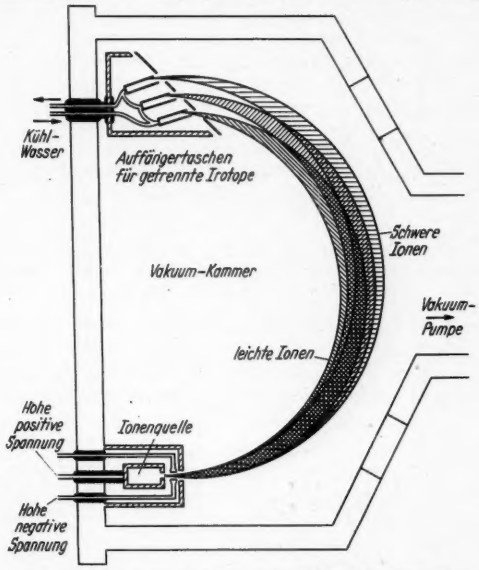


Fig. 15. Prinzip eines elektromagnetischen Isotopenseparators (Calutron)

von etwa 30 kV wird ein Ionenstrom von etwa 100 mA aus dieser Entladung herausgezogen. Das Ionenbündel wird durch ein Magnetfeld senkrecht zur Zeichenebene (einige tausend Gauß) zerlegt und nach 180° in die Auffängertaschen fokussiert. Die Gesamtausbeute (gesamtes getrenntes Material/Beschickung) beträgt in besonders günstigen Fällen 30%.

44. *Getrennte stabile Isotope*

Unter den 83 stabilen Elementen gibt es 62 Isotopengemische, dazu kommen die drei langlebigen Uranisotope. Von diesen 63 Gemischen ist eine große

Zahl mit dem Calutron getrennt worden, die Isotope stehen in Milligramm- und Gramm-Mengen für wissenschaftliche Zwecke zur Verfügung. Nicht getrennt wurden bis Ende 1955 nur 11 Elemente, und zwar einige seltene Erden, die Edelgase und Osmium.

In größeren Mengen sind erhältlich die Isotope von Wasserstoff, Lithium, Bor, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff und Uran.

Die Verwendung getrennter Isotope hat viele wissenschaftliche Probleme erst einer Lösung zugeführt. Über 2000 kernphysikalische Einzeluntersuchungen wurden durchgeführt: Wirkungsquerschnitte, Spin, magnetisches Moment, angeregte Zustände, Zerfall, Kernreaktionen u. a. waren Gegenstand der Untersuchung. Dazu kommt eine große Zahl physikalisch-chemischer, medizinischer und biologischer Probleme, welche mit getrennten stabilen Isotopen bearbeitet wurden.

5. Herstellung und Messung radioaktiver Isotope

51. Herstellung

Radioaktive Isotope werden heute zur Verwendung als Indikatoren vor allem im Reaktor hergestellt. Dort herrscht eine hohe thermische Neutronenstromdichte, die im Zentrum 10^{12} bis 10^{14} Neutronen/cm² · sec

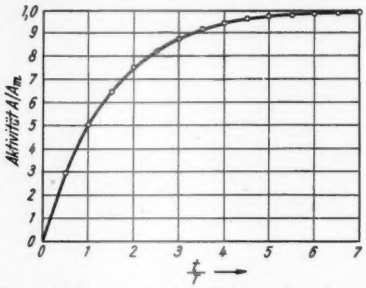


Fig. 16. Der zeitliche Anstieg der Aktivität eines Isotops bei der Neutronenbestrahlung im Reaktor. T Halbwertszeit, A_m maximale Aktivität

betragen kann und zum Rand der Anordnung hin bis auf 10^9 Neutronen/cm² · sec absinkt. Neben diesen thermischen Neutronen sind im Reaktor schnelle Neutronen mit einem Energiespektrum von einigen MeV bis zu den thermischen Energien herunter vorhanden, so daß sowohl thermische Einfangprozesse als auch neutroneninduzierte Kernreaktionen stattfinden können, wenn man einen zu aktivierenden Stoff in den Reaktor bringt. Die Aktivität des Stoffes steigt dabei nach einem Exponentialgesetz auf einen endlichen Grenzwert an, der dadurch bedingt ist, daß die Zahl der in der Zeiteinheit gebildeten radioaktiven Atome gleich der Zahl der in der Zeiteinheit zerfallenden Atome ist. Sind Φ die Stromdichte derjenigen Neutronen, welche die Aktivierung bewirken, σ der Wirkungsquerschnitt der aktivierenden Reaktion, t die Bestrahlungszeit, T die Halbwertszeit des gebildeten radioaktiven Kerns und N die Teilchendichte der aktivierbaren Kerne, so gilt für das zeitliche Ansteigen der Aktivität A

$$A = \Phi \cdot \sigma \cdot N \left(1 - e^{-\ln 2\, t/T}\right).$$

Diese Formel ist in Fig. 16 graphisch dargestellt. Man sieht, daß bereits nach einer Bestrahlungszeit von 5 bis 6 Halbwertszeiten der Sättigungswert annähernd erreicht ist.

Der wirksamste Prozeß zur Erzeugung radioaktiver Kerne ist der Neutroneneinfang, wobei ein thermisches Neutron im Kern absorbiert und ein γ-Quant emittiert wird. Dabei entsteht das nächst schwerere Isotop des bestrahlten Kerns, z. B.

$$^{23}\mathrm{Na}\,(n,\gamma)\,^{24}\mathrm{Na} \xrightarrow[14{,}8\,h]{\beta^-} .$$

Die radioaktiven Atome können in diesem Fall nicht von der bestrahlten Substanz getrennt werden, weshalb die erreichbare „spezifische Aktivität" begrenzt ist. Will man sog. „trägerfreies" Material erhalten und damit sehr hohe spezifische Aktivität erreichen, so muß man (n, γ)-Prozesse verwenden, bei denen das entstandene radioaktive Isotop durch Zerfall in das schließlich gewünschte übergeht, z. B.

$$^{130}\mathrm{Te}\,(n,\gamma)\,^{131}\mathrm{Te} \xrightarrow[24{,}8\,\mathrm{min}]{\beta^-} {}^{131}\mathrm{I} \xrightarrow[8{,}0\,d]{\beta^-} .$$

Das entstandene Jod kann man von Tellur chemisch abtrennen. Zum gleichen Erfolg führen (n, p) Prozesse, bei denen ein schnelles Neutron in den Kern eintritt, ein Proton den Kern verläßt, z. B.

$$^{32}\mathrm{S}\,(n,p)\,^{32}\mathrm{P} \xrightarrow[14{,}3\,d]{\beta^-} \quad \text{oder} \quad {}^{14}\mathrm{N}\,(n,p)\,^{14}\mathrm{C} \xrightarrow[5570\,a]{\beta^-}$$

und (n, α)-Prozesse; auf diese Weise entsteht z. B. Tritium:

$$^{6}\mathrm{Li}\,(n,\alpha)\,^{3}\mathrm{H} \xrightarrow[12{,}4\,a]{\beta^-} .$$

Diese Art von Aktivierung hat den Nachteil, daß die Strömdichte der schnellen Neutronen kleiner als die der thermischen ist und daß die Wirkungsquerschnitte dieser Reaktionen im allgemeinen kleiner sind.

Ebenfalls „trägerfrei" kann man die Spaltprodukte des ^{235}U (bzw. eines anderen spaltbaren Materials) aus den Brennstoffelementen des Reaktors bei deren Aufarbeitung gewinnen.

Eine weitere Methode zur Gewinnung trägerfreier radioaktiver Substanz ist der Szilard-Chalmers-Prozeß. Er beruht darauf, daß das aktivierte Atom aus seinem Atomverband herausgerissen wird und in einen Valenz- oder chemischen Zustand übergeht, in dem es von der ursprünglichen Substanz getrennt werden kann. Bestrahlt man etwa Äthylchlorid mit Neutronen, so wird zunächst beim Einfang des Neutrons im Jodkern auf diesen ein Impuls übertragen; dieser reicht im allgemeinen noch nicht aus, um die Molekelbindung zu sprengen. Die dem Einfang folgende γ-Emission jedoch erzeugt einen ausreichenden Rückstoß, um das Jodatom freizumachen. Das entstehende elementare Jod kann dann mit Wasser aus dem Äthyliodid ausgeschüttelt werden.

Schließlich muß die Herstellung radioaktiver Kerne durch schnelle Protonen oder Deuteronen im Zyklotron erwähnt werden. Besonders bei höheren Energien (>100 MeV) entsteht eine große Variabilität radioaktiver Kerne. Als Beispiel soll ein Spallationsprozeß angeführt werden, also ein Prozeß, bei dem durch das in den Kern geschossene Teilchen eine größere Zahl von Protonen und Neutronen „abgedampft" wird.

$$^{238}_{92}\mathrm{U}\,(\alpha\ 380\,\mathrm{MeV};\ 20p,\ 35n)\,^{187}_{74}\mathrm{W},$$

d. h. also, daß durch ein α-Teilchen von 380 MeV Energie 20 Protonen und 35 Neutronen aus dem Kern entfernt werden, so daß aus Uran Wolfram entsteht. Die Neutronen und Protonen können einzeln und als

leichte Kerne ausgeschleudert werden. Obwohl bei solchen Reaktionen im Teilchenbeschleuniger die spezifischen Aktivitäten viel geringer sind als bei Bestrahlungen im Reaktor, kann man ausreichende Mengen für Indikator-Untersuchungen herstellen.

52. Messung radioaktiver Isotope; Szintillationszähler

Aus der Vielzahl der Meßmethoden soll beispielhaft eine herausgegriffen werden, welche in letzter Zeit zur Messung der γ-Strahlung immer größere Bedeutung erlangt hat, der Szintillationszähler. Auf die Besprechung all der wichtigen Fragen der Geometrie, der Selbstabsorption im Präparat, der Rückstreuung, welche bei der Messung besonders weicher β-Strahlung eine wichtige Rolle spielen, weiter der Messung der β-Strahlung und vieler anderer wichtiger Dinge wird dabei bewußt verzichtet.

Die Messung geladener Teilchen erfolgt über die Ionisation, welche sie z. B. in einem Gas erzeugen. Da die Zahl der je Zentimeter gebildeten Ionenpaare für nicht zu kleine Teilchenenergien (Größenordnung 1 keV) selbst bei Drucken von 10 bis 100 Torr noch beträchtlich ist, wird ein Zählrohr oder ein diesem verwandtes Meßinstrument praktisch jedes ionisierende Teilchen registrieren. Anders bei γ-Strahlung: diese ionisiert längs ihres Weges durch Materie um 2 bis 3 Zehnerpotenzen seltener. Daher wird in einem Zählrohr günstigstenfalls von hundert ein γ-Quant gezählt, meist weniger.

Die Wechselwirkung von γ-Quanten mit Materie wird durch drei Prozesse beschrieben. Beim *Photoeffekt* wird die gesamte Quantenenergie auf ein inneres Elektron (K, L-Schale) übertragen, das Elektron erhält eine kinetische Energie, welche gleich der Quantenenergie vermindert um die Ablösearbeit ist. Beim *Comptoneffekt* führt das Quant einen elastischen Stoß mit einem äußeren (praktisch freien) Elektron aus. Es entstehen ein weicheres Streuquant und ein Rückstoßelektron, dessen Energie zwischen Null und einem bestimmten Bruchteil der Quantenenergie liegen kann und ein kontinuierliches Spektrum ausfüllt. Bei hohen Quantenenergien kann das Quant im Kernfeld sich in ein Elektronenpaar verwandeln, es tritt *Paarbildung* auf. Fig. 17 zeigt die Wahrscheinlichkeit für diese Prozesse. Bei sehr kleinen Energien dominiert der Photoeffekt (die Kurven von Photoeffekt und Comptoneffekt überschneiden sich oberhalb des Bildrandes), dann der Comptoneffekt und im MeV-Gebiet schließlich die Paarbildung.

Will man ein γ-Quant im Zählrohr registrieren, so muß einer der genannten Prozesse entweder in der Gasfüllung oder in der Wand passieren. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Effekts im Gas ist außerordentlich klein. In der Wand treten die Prozesse zwar häufiger ein; bei 2 MeV ist nach Fig. 17 der Absorptionskoeffizient für die Umwandlung des Quants in ein Comptonelektron 0,1 cm^{-1}, d. h., in 1 cm Wand wären 10% der Quanten in Elektronen verwandelt. Diese Elektronen können aber aus der Wand nicht austreten, da sie bestenfalls eine Reichweite von etwa 2 mm haben. Nur Elektronen, welche mit der maximalen Energie in einer Schicht von 2 mm entstehen, haben überhaupt eine Chance, ins Zählvolumen zu kommen. Da aber die gebildeten Elektronen eine Energieverteilung bis zur Energie Null herunter (vgl. später, Fig. 18b) und eine Richtungsverteilung besitzen, kommen die Elektronen aus einer effektiven Schichtdicke, die zwischen 0,1 bis 1 mm liegt, und daher liegt die Empfindlichkeit des Zählrohrs zwischen 0,1 und 1%.

Anders ist dies bei einer Anordnung nach Fig. 18. Dort ist auf einen Photoelektronenvervielfacher ein Natriumjodidkristall von etwa 1,5 cm Durchmesser und 1,5 cm Höhe aufgebracht [26]. In diesem werden nach Fig. 17 von den auffallenden γ-Quanten 10 bis

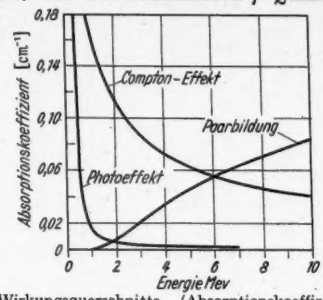


Fig. 17. Wirkungsquerschnitte (Absorptionskoeffizienten) von Photoeffekt, Comptoneffekt und Paarbildung für Natriumiodid

20% absorbiert und in Elektronen verwandelt. Die erzeugten Photoelektronen, Comptonelektronen oder Elektronenpaare regen den NaJ-Kristall zum Leuchten an, und zwar ist die Zahl der Lichtquanten proportional zur Energie des gebildeten Elektrons. Die Lichtquanten lösen in der lichtelektrischen Kathode des Photoelektronenvervielfachers eine ihrer Zahl proportionale Elektronenzahl aus, diese wird verstärkt

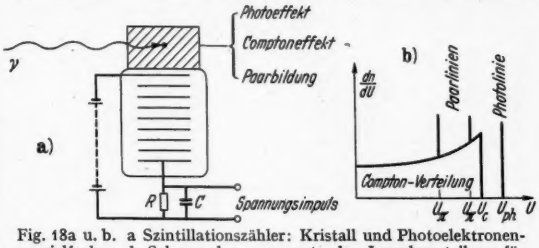


Fig. 18a u. b. a Szintillationszähler: Kristall und Photoelektronenvervielfacher. b Schema der zu erwartenden Impulsverteilung für monochromatische γ-Strahlung bei der Verwendung als Einkristallspektrometer

und erzeugt einen elektrischen Ausgangsimpuls. Da das γ-Quant sowohl Photoelektronen als auch Comptonelektronen als auch Paare erzeugen kann, erhält man auch bei monochromatischer γ-Strahlung ein ganzes Impulsspektrum, wie es in Fig. 18b dargestellt ist.

Da in dieser Anordnung alle absorbierten, d. h. in Elektronen „umgesetzten" γ-Quanten zu einem — größeren oder kleineren — elektrischen Ausgangsimpuls führen, ist die Empfindlichkeit dieses Meßgeräts 10 bis 20%, also 100mal so groß wie die des Zählrohrs.

In Fig. 19 und 20 [27] sind solche Impulsspektren ausgemessen. Fig. 19 gibt das durch die monochromatische γ-Linie 0,411 MeV des Au erzeugte Spektrum der elektrischen Ausgangsimpulse wieder. Zur Aufnahme eines solchen Spektrums verwendet man einen Verstärker, der nur Impulse innerhalb eines bestimmten vorwählbaren Intervalls, z. B. zwischen 51 und 52 V, 52 und 53 V usw., zählt. Fig. 19 zeigt bei 90 V eine ausgeprägte „Linie", welche von den im Kristall

ausgelösten Photoelektronen, die ja alle dieselbe Energie besitzen, herrührt. Sie hat eine nicht unbeträchtliche Breite, verursacht durch die Statistik des Umsatzes der Energie des Photoelektrons — über

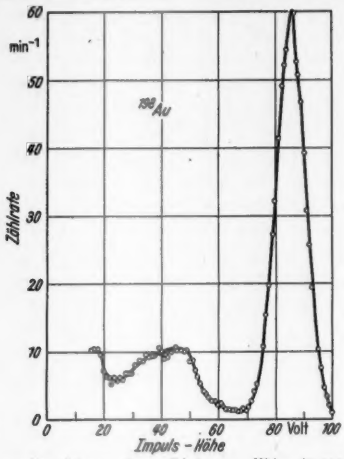


Fig. 19. Impulsspektrum der γ-Linie von ^{198}Au (0,411 MeV) [28]

Anregung des Kristallgitters, Aufsammlung der emittierten Lichtquanten und Auslösung von Elektronen auf der lichtelektrischen Kathode des Vervielfachers (Multipliers) und schließlich Verstärkung im Vervielfacher — in einen elektrischen Stromstoß (Ausgangsimpuls). Links von dieser „Linie" erhebt sich ein breites Kontinuum, das bei 50 V sein Maximum hat und nach links abfällt (der Anstieg bei 20 V ist ein „Störuntergrund"). Dies wird verursacht durch die im Kristall ausgelösten Comptonelektronen. Man vergleiche hierzu die schematische Darstellung der zu erwartenden Impulsverteilung in Fig. 18b.

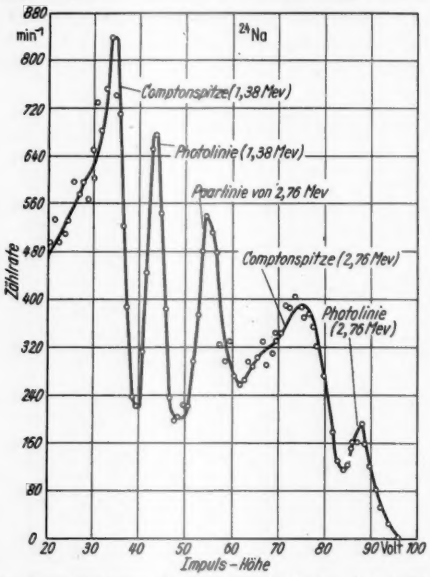


Fig. 20. Impulsspektrum der beiden γ-Linien des ^{24}Na (1,38 MeV; 2,76 MeV) [28]

Die Fig. 19 zeigt, daß man einen Szintillationszähler dieser Art unter Umständen zur Messung der Energie von γ-Linien verwenden kann, wenn man kein allzu großes Auflösungsvermögen verlangt. Besonders bei kleinen γ-Energien (unterhalb 0,5 MeV) ist dies möglich, weil hier der „Compton-Berg" relativ klein ist; der Photoeffekt spielt nach Fig. 17 noch die dominierende Rolle. Über 1 MeV werden die Verhältnisse komplizierter: das Maximum der Compton-Verteilung überragt dann die Photolinie, und dazu treten die Spitzen, welche von den Elektronenpaaren herrühren. Fig. 20 gibt ein Beispiel der Vielfalt der auftretenden „Linien", wenn die zwei γ-Linien des ^{24}Na mit 1,38 und 2,76 MeV in einem solchen „Einkristallspektrometer" untersucht werden. Es ist viel Erfahrung nötig, um ein solches Spektrum zu deuten.

Für die Indikatormethode mit radioaktiven Isotopen hat der Szintillationszähler nicht nur den Vorteil großer Empfindlichkeit für γ-Strahlung und macht damit die Verwendung von γ-Strahlern erst in größerem Umfang möglich, sondern er bringt noch weitere Vorteile. Wenn man das Meßgerät (den Verstärker) auf die Photolinie (vgl. Fig. 19) einstellt, kann man einen eventuell vorhandenen Störuntergrund stark vermindern; weiter kann man zwei Strahler mit verschiedener γ-Energie gleichzeitig anwenden und selektiv messen, indem man auf die entsprechenden Linien einstellt. Eine genaue Analyse der Spektren ist dazu allerdings im voraus notwendig.

Literatur

[1] SODDY, F.: Chem. Soc. Ann. Rep. **1910**, 285. — [2] RUSSELL, A. S., and E. ROSSI: Proc. Roy. Soc. [London], Ser. A **77**, 478 (1912). — [3] RUTHERFORD, E., and E. N. DA C. ANDRADE: Phil. Mag. **27**, 854 (1914). — [4] SODDY, F.: The Radioelements and the Periodic Law. Report of the British Association for the Advancement of Science 1913, S. 445. — [5] ASTON, F. W.: Mass Spectra and Isotopes. London 1924. — [6] HEVESY, G. v.: Biochemic. J. **17**, 439 (1923). — HEVESY, G. v. u. F. A. PANETH: Z. anorg. Chem. **82**, 323 (1913). — [7] CURIE, I., and F. JOLIOT: Nature [London] **133**, 201 (1934). — [8] Vgl. z.B. EWALD, H., u. H. HINTENBERGER: Methoden und Anwendungen der Massenspektroskopie. Weinheim 1953. — INGHRAM, M.G., u. R. J. HAYDEN: A Handbook on Mass Spectroscopy. Nuclear Science Series Report No. 14. Washington, D. C. 1954. — [9] Vgl. WALCHER, W.: Die Ionenoptik des Massenspektrometers. Angew. Chem. **62**, 182 (1950). — [9a] LELAND, W. T.: Physic. Rev. **77**, 634 (1950). — [10] NIER, A.O.: Physic. Rev. **55**, 150, 153 (1939). — [11] ALDRICH, L.T., and A. O. NIER: Physic. Rev. **74**, 876 (1948). — [12] HERR, W., H. HINTENBERGER and H. VOSHAGE: Physic. Rev. **95**, 1690, 1691 (1954). — [13] MCNAMARA, J., and G. H. THODE: Physic. Rev. **80**, 471 (1950). — [14] MCNAMARA, J., H. THODE and C. B. COLLINS: Canad. J. Res., Sect. B **27**, 361 (1949). — Physic. Rev. **78**, 307 (1950). — [15] MURPHY, B. F., and A. O. NIER: Physic. Rev. **59**, 771 (1941). — [16] NIER, A. O.: Physic. Rev. **77**, 789 (1950). — [17] TILTOW, G. R.: Atomic Energy Commission Report, AECD-3182 (1951). — [18] Vgl. für das folgende UREY, H.C.: J. Chem. Soc. [London] **8**, 562 (1947). — [19] UREY, H.C., and A. H. W. ATEN: Physic. Rev. **50**, 575 (1946). — [20] UREY, H.C., H. A. LOWENSTAM, S. EPSTEIN and C. R. MCKINNEY: Bull. Geol. Soc. Amer. **62**, 399, 417 (1951). — [21] WALCHER, W.: Ergebn. exakt. Naturwiss. **18**, 155 (1939). — [22] COHEN, K.: The Theory of Isotope Separation. Nat. Nucl. En. Series III, 1B. New York 1951. — [23] CLUSIUS, K., u. G. DICKEL: Z. physik. Chem., Abt. B **44**, 397 (1939). — [24] THODE, H. G., and H. C. UREY: J. Chem. Physics **7**, 34 (1939). — [25] Electromagnetically Enriched Isotopes. Edited by M. L. SMITH. London 1956. — [27] HOFSTADTER, R.: Physic. Rev. **74**, 1240 (1948). — [28] HOFSTADTER, R., and J. A. MCINTRYE: Nucleonics **7**, H. 3, 32 (1950).

Physikalisches Institut der Universität, Marburg a.d. Lahn

Eingegangen am 25. Oktober 1956

Diskusionsbemerkung zu dem Vortrag von W. Walcher

Von F. A. PANETH, Mainz

Bei Besprechung der Abweichungen vom Standardwert, die im Mischungsverhältnis der Isotope einiger Elemente gefunden worden sind, hat Herr WALCHER auch die unter dem Einfluß des Schwerefeldes der Erde möglicherweise auftretende Scheidung der leichten und schweren Gase der Atmosphäre erwähnt und darauf hingewiesen, daß vor einigen Jahren in einer Arbeit berichtet wurde, daß sich durch massenspektroskopische Beobachtungen habe feststellen lassen, daß in höheren Schichten der Atmosphäre das Verhältnis der Stickstoffisotope zugunsten der leichteren Isotope verschoben sei. Ich möchte mir erlauben, zu dieser von Herrn WALCHER zitierten Arbeit eine kritische Bemerkung zu machen.

Aus der barometrischen Höhenformel und DALTONs Gesetz der Partialdrucke folgt unmittelbar, daß — bei Abwesenheit von Störungen — in den höheren Schichten der Erdatmosphäre das Verhältnis der leichten zu den schweren Gasen größer sein muß als im Meeresniveau. Diese Folgerung hat schon DALTON gezogen; er glaubte, sie durch Messung des Verhältnisses Sauerstoff zu Stickstoff in der auf Berggipfeln gesammelten Luft beweisen zu können. Auch nach ihm ist noch öfter eine Verarmung des Sauerstoffs gegenüber Stickstoff in höheren Atmosphärenschichten behauptet worden. Daß aber diese Beobachtungen, mindestens bis zur Höhe von 60 km, nicht auf einer Wirkung des Gravitationsfeldes der Erde beruhen, sondern durch Analysenfehler vorgetäuscht sind, haben wir in jahrelangen Versuchen dadurch beweisen können, daß wir nicht das Verhältnis Sauerstoff zu Stickstoff, sondern das der Edelgase Helium, Neon und Argon zu Stickstoff prüften und bis zu den erwähnten Höhen vollständig unverändert fanden. Die Erklärung für die bei Sauerstoff gefundenen falschen Resultate ist einfach darin zu suchen, daß Sauerstoff durch Reaktion mit den Sammelgefäßen zum Teil verlorengeht, während die Menge des Stickstoffs unverändert bleibt. Worauf der Fehler in der von Herrn WALCHER erwähnten massenspektroskopischen Arbeit beruht, vermag ich nicht zu sagen; da aber das Verhältnis der Stickstoffisotope nur in viel geringerem Maße eine Verschiebung zeigen könnte als etwa das Verhältnis Helium zu Argon, welches wir, wie erwähnt, ganz unverändert gefunden haben, kann wohl kein Zweifel darüber herrschen, daß auch hier die scheinbare Wirkung des Gravitationsfeldes der Erde auf irgendwelche experimentelle Fehler zurückzuführen ist. Aus unseren Versuchen muß man schließen, daß mindestens bis zu der Höhe von 60 km der Einfluß von Winden so stark ist, daß die Trennung nach dem spezifischen Gewicht durch das Schwerefeld, die nur in einer ruhenden Atmosphäre zu erwarten wäre, sich nicht auswirken kann.

Eingegangen am 5. November 1956

Energieerzeugung und Entwicklung der Sterne*)

Von A. UNSÖLD, Kiel

Einleitung

Zweihundert Jahre sind vergangen, seit I. KANT es wagte, die Probleme der Kosmogonie aus der Zuständigkeit der Theologie in die der Naturforschung überzuführen und „nach NEWTONischen Grundsätzen" abzuhandeln. Fast ein Jahrhundert nach dem (zunächst anonymen) Erscheinen der „Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels" dauerte es noch, bis 1838 F. W. BESSEL und W. STRUVE die Entfernung eines Fixsternes wirklich *messen* konnten. Erst in unserem Jahrhundert setzte dann die stürmische Entwicklung der Astronomie ein, die sich würdig den fast gleichzeitigen Entdeckungen der Relativitätstheorie und der Quantentheorie an die Seite stellt: *Die Welt als Ganzes, der ganze Kosmos in seinem räumlichen Aufbau und in seiner zeitlichen Entwicklung ist ein Gegenstand exakter naturwissenschaftlicher Forschung geworden.*

I. Kosmische Entfernungen

Die Erforschung des *räumlichen Aufbaues* zunächst unseres Milchstraßensystems und dann des ganzen Kosmos der extragalaktischen Nebel beruhte neben der Entwicklung immer leistungsfähigerer Instrumente auf der Methodik der sog. *photometrischen Entfernungsmessung:*

F. W. BESSEL und W. STRUVE hatten seiner Zeit für einige uns nah benachbarte Sterne durch genaue trigonometrische Messungen (Fig. 1) die *Parallaxe* p bestimmt, d.h. den Winkel, unter dem der Erdbahnradius, von dem Stern aus gesehen, erscheinen würde. Die Entfernung eines Sternes mit $p = 1''$ nennt man 1 parsec. Wie man leicht ausrechnet, ist 1 parsec = 3,26 Lichtjahre = $3{,}08 \cdot 10^{13}$ cm = 30 800 000 000 000 km. Der Sirius z.B. hat eine

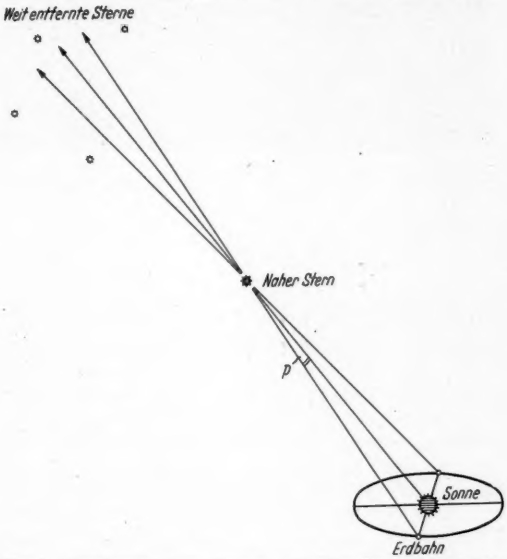


Fig. 1. Parallaxe p eines Sternes. Die Parallaxe des nächsten Sternes α Centauri ist $0''{,}76$. Einer Parallaxe von p Bogensekunden entspricht die Entfernung $1/p$ parsec. 1 parsec = 3,26 Lichtjahre = $3{,}08 \cdot 10^{13}$ cm. 1 kpc = 1000 parsec

Parallaxe $p = 0''{,}375$ bzw. eine Entfernung von 2,7 parsec oder 8,6 Lichtjahren.

Diese Methode der *trigonometrischen Parallaxen* bildet zwar das Fundament aller kosmischen Entfernungsmessungen, aber sie erfaßt — infolge ihrer

*) Vortrag, gehalten auf der 99. Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte am 24. September 1956 in Hamburg.

meßtechnischen Beschränkungen — nur unsere „nächste Umgebung" bis zu Entfernungen von ~50 parsec. Auch andere *geometrische* Methoden führen nicht sehr viel weiter.

Die *photometrische Entfernungsmessung* geht nun folgendermaßen vor: Hat man für eine bestimmte Art von Sternen an Hand weniger nah benachbarter Objekte ihre *absolute Helligkeit* (per. def. bezogen auf eine Entfernung von 10 parsec) bestimmt, so kann man für entfernte Objekte derselben Art aus dem Vergleich von scheinbarer und absoluter Helligkeit nach dem $1/r^2$-Gesetz der Photometrie ohne weiteres ihre Entfernung berechnen (auf die Komplikationen durch interstellare Absorption soll hier nicht näher eingegangen werden).

Fig. 2. Der Kugelsternhaufen M 13 = NGC 6205 (Aufnahme Mt. Wilson und Palomar Observatory), Entfernung 8,3 kpc

1918 wandte H. SHAPLEY diese Methodik der photometrischen Entfernungsmessung auf die *Kugelsternhaufen* (Fig. 2) an unter Benützung der in diesen enthaltenen sog. *Haufenveränderlichen*, der kurzperiodischen *Cepheiden*. Es zeigte sich, daß die Kugelsternhaufen ein etwas abgeplattetes System bilden, das auch den Umriß unseres ganzen Milchstraßensystems markiert. Von hier aus begründeten dann H. SHAPLEY, J. H. OORT, B. LINDBLAD u. a. das heutige Bild unseres Milchstraßensystems. Fig. 3 zeigt nach den neuesten Untersuchungen an der Sternwarte Leiden [*31*] die Verteilung der Massendichte und der Umlaufgeschwindigkeiten in der Milchstraße: Diese stellt sich dar als ein ziemlich abgeplattetes Gebilde mit einem Durchmesser von ~30 kpc = 30000 parsec. Unsere Sonne umkreist seinen Kern in einer Entfernung von 8,2 kpc = 27000 Lichtjahren mit einer Geschwindigkeit von 216 km/sec bzw. einer Umlaufzeit von $2{,}3 \cdot 10^8$ Jahren; seit der Karbonzeit sind wir also einmal um das galaktische Zentrum im Scorpio-Sagittarius gewandert.

1924 gelang es dann E. HUBBLE mit inzwischen verbesserter Technik, die Methode der photometrischen Entfernungsbestimmung auch auf die *extragalaktischen Nebel* anzuwenden. Unser nächster Nachbar im intergalaktischen Raum, der Andromedanebel (M 31)[1], ist von uns 460 kpc oder 1,5 Millionen Lichtjahre entfernt. Neuere Untersuchungen von W. BAADE haben gezeigt, daß seine Größe, sein Aufbau usw. bis in ziemlich feine Details unserem Milchstraßensystem entsprechen. Fig. 4 vermittelt also gleichzeitig eine Vorstellung davon, wie unser Milchstraßensystem einem intergalaktischen Astronautiker erscheinen würde. Auf der anderen Seite geben die beiden kleinen elliptischen

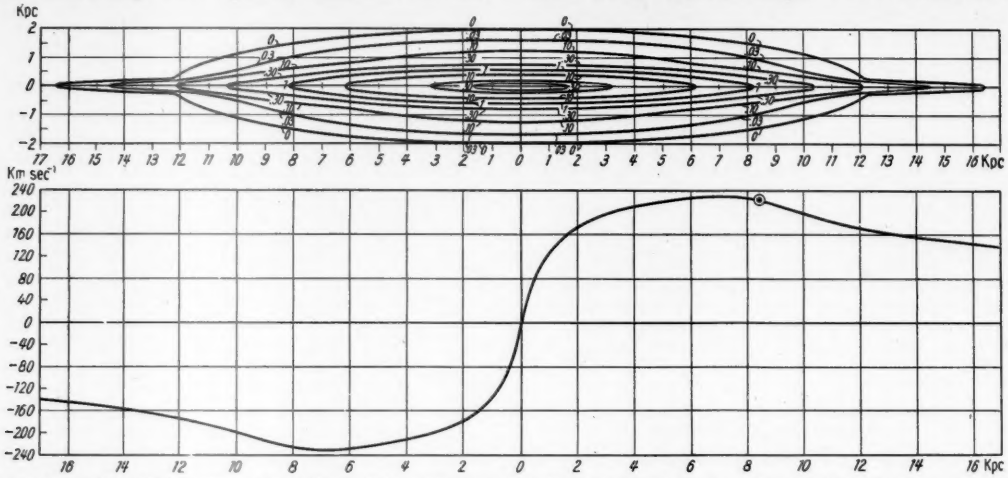


Fig. 3. Unser Milchstraßensystem. Oben: Massendichte, bezogen auf die Umgebung der Sonne $\varrho_\odot = 6{,}34 \cdot 10^{-24}$ gr/cm³. Unten: Rotationsgeschwindigkeit in km/sec in Abhängigkeit vom Abstand zum Zentrum in kiloparsec (kpc). Die Sonne ist vom Zentrum 8,2 kpc = 27000 Lichtjahre entfernt und bewegt sich mit 216 km/sec auf das Sternbild Cygnus zu. (Nach M. SCHMIDT [*31*])

[1]) Man bezeichnet die Nebel mit ihrer Nummer in dem Katalog von MESSIER (1784) oder DREYERS *New General Catalogue* (1887). Der Andromedanebel z. B. ist M 31 bzw. NGC 223.

Nebel (M32 und NGC205), welche den Andromedanebel begleiten, eine Vorstellung von den Größenunterschieden verschiedenartiger extragalaktischer Objekte. Durch photometrischen Vergleich mit den wenigen genau untersuchten Nebeln in unserer „Nähe" kann man nun auch die Entfernungen der Millionen lichtschwächerer Nebelchen bestimmen, die von uns eine Milliarde Lichtjahre und weiter entfernt sind.

II. Die Expansion des Weltalls und das Alter der Welt. — Alter der Erde. — Alter und Entstehung der Häufigkeitsverteilung der chemischen Elemente

Die spektroskopischen Beobachtungen von SLIPHER, HUBBLE, HUMASON u. a. enthüllten dann weiter die bekannte, linear mit der Entfernung anwachsende *Rotverschiebung bzw. Radialgeschwindigkeit der extragalaktischen Nebel.* Wir deuten sie am zwanglosesten durch die von der allgemeinen Relativitätstheorie nahegelegte Vorstellung der *Expansion des Weltalls.* Extrapoliert man von dem beobachteten Rotverschiebungsgesetz aus die Bewegungen der Nebel rückwärts, so wird man zu der Annahme geführt, daß die Materie im Weltall zu einem früheren Zeitpunkt außerordentlich viel dichter gepackt war als heute. Wir sprechen daher — und es wird sich zeigen, daß dies auch in anderem Sinne gerechtfertigt ist — von der Entstehung und dem *Alter der Welt.* Nach den neuesten Untersuchungen von M. L. HUMASON, N. U. MAYALL und A. R. SANDAGE [*20*] über die Rotverschiebungen und die Entfernungen der extragalaktischen Nebel erhält man den — immer noch als provisorisch bezeichneten — Wert[1]) für das

$$\text{Alter der Welt}: 5{,}4 \pm 1{,}1 \cdot 10^9 \text{ Jahren.} \qquad (1)$$

Auf der anderen Seite können wir kosmische Zeiträume messen mit Hilfe des Zerfalles hinreichend langlebiger und „elternloser" *radioaktiver Elemente,* insbesondere $U^{235} \rightarrow Pb^{207}$, $K^{40} \rightarrow A^{40}$, $Rb^{87} \rightarrow Sr^{87}$. Man hat so — wie Herr Professor F. G. HOUTERMANS im einzelnen ausführen wird — den Zeitraum bestimmt, welcher seit der Bildung des Gesteinsmantels der Erde vergangen ist; man spricht meist kurz vom „*Alter der Erde*". Die Ergebnisse der zahlreichen neueren Untersuchungen darf man wohl zusammenfassen in dem Zahlenwert

$$\text{Alter der Erde}: 4{,}5 \pm 0{,}3 \cdot 10^9 \text{ Jahre.} \qquad (2)$$

Da die Zeiträume (1) und (2) innerhalb ihrer Fehlergrenzen übereinstimmen, so muß die *Erde* und a fortiori die *Sonne* ganz am Anfang der „kosmischen Entwicklung" entstanden sein.

Die erwähnten radioaktiven Umwandlungen gestatten darüber hinaus noch eine Aussage über das *Alter der radioaktiven Elemente* selbst: Das Häufigkeitsverhältnis z.B. der Uranisotope U^{235}/U^{238} ist heute bekanntlich 1/139. Da U^{235} erheblich rascher zerfällt als U^{238}, so muß das Verhältnis früher *größer* gewesen sein. Da ursprünglich — entsprechend den bekannten Regeln der Häufigkeitsverteilung der

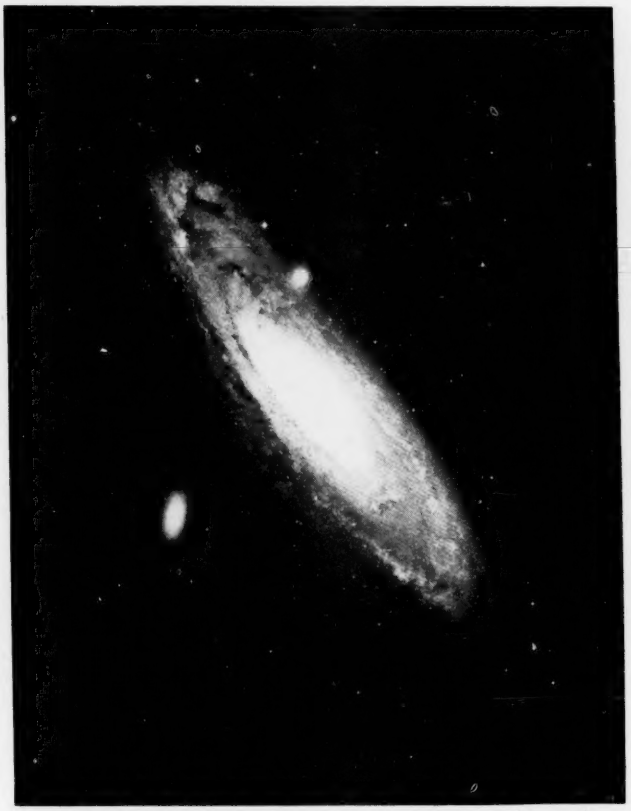


Fig. 4. Der Andromedanebel M31 = NGC223 und seine Begleiter, der Kugelnebel M32 (oben) und der elliptische Nebel NGC205 (links unten). (Aufnahme Mt. Palomar, Schmidtspiegel)

Elemente — das Verhältnis der beiden Isotope ungefähr $^1/_{10}$ bis $^1/_3$ gewesen sein wird, so kann man leicht ausrechnen, daß die Entstehung des Urans vor etwa 3 bis $6 \cdot 10^9$ Jahren stattgefunden hat. Die Diskussion anderer radioaktiver Zerfälle führt auf Zeiträume derselben Größenordnung. Die Erkenntnis, daß der Ursprung der radioaktiven Elemente praktisch mit der Entstehung der Welt koinzidiert, verbinden wir nun mit der ebenso erstaunlichen Aussage der quantitativen Spektralanalyse der Sterne, daß jedenfalls auf weitaus den meisten Sternen dieselbe *Häufigkeitsverteilung der chemischen Elemente* besteht. (Auf einige Ausnahmen werden wir noch zurückkommen.) Auch die fernsten Spiralnebel zeigen im Mittel dieselben Spektrallinien (Ca II, H und K) wie z.B. der Andromedanebel, woraus wir schließen, daß das Häufigkeitsverhältnis Ca/H in den verschiedenen Objekten nahezu dasselbe sein muß.

Die nächstliegende Deutung der dargestellten Beobachtungen ist die, daß bei der „Entstehung der Welt" so hohe Temperaturen ($T \approx 10^{10}$ °K, entsprechend $kT \approx 1$ MeV) und Dichten herrschten, daß

[1]) *Anmerkung bei der Korrektur.* Einer freundlichen brieflichen Mitteilung von Herrn Dr. E. SCHÜCKING-BERGEDORF verdanke ich die Bemerkung, daß relativistische Weltmodelle mit positiver kosmologischer Konstante auf ein Weltalter führen, das in jedem Falle (unter Umständen beträchtlich) *unter* dem durch lineare Extrapolation erhaltenen Wert (1) liegt.

zunächst alle Kernreaktionen stattfinden konnten. Mit zunehmender Abkühlung und Verdünnung der Materie stellte sich dann die *„universelle Häufigkeitsverteilung der Elemente"* ein. G. GAMOW, R. A. ALPHER, R. C. HERMAN (vgl. z. B. [2]) u. a. haben dieses

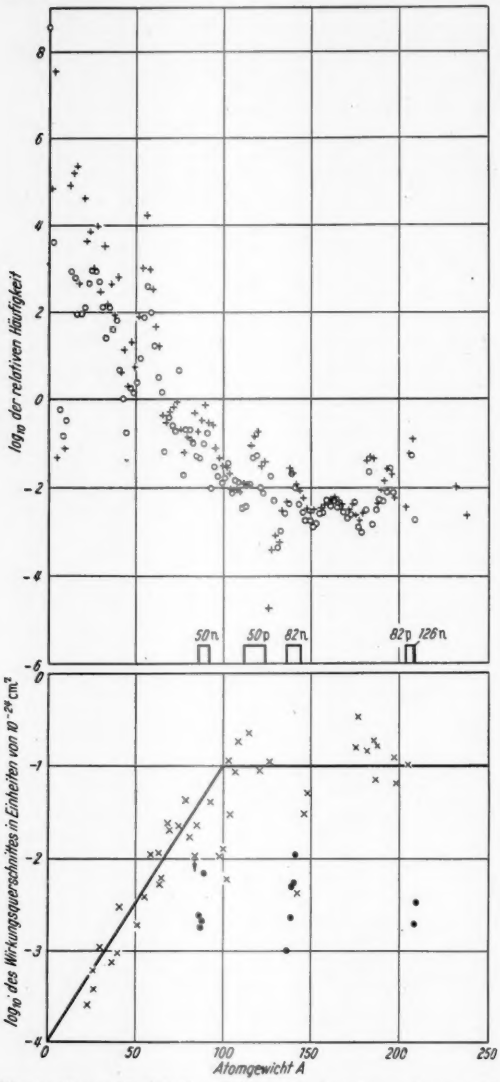


Fig. 5. Oben: Häufigkeitsverteilung der Atomkerne (genauer: der Isotope bzw. Summe gleichschwerer Isobaren) als Funktion des Atomgewichtes A. Es bedeuten: O gerade und + ungerade A. Einige Bereiche abgeschlossener Schalen im Kern — „magische Zahlen" — sind unten angezeichnet; die entsprechenden Kerne haben etwas überdurchschnittliche Häufigkeit. Unten: Wirkungsquerschnitte für die Einfangung von 1 MeV-Neutronen. Kerne in der Nähe der „magischen" Neutronenzahlen $50n$, $82n$ und $126n \pm 1n$ (mit ● bezeichnet) und deren Nachbarn haben kleine Wirkungsquerschnitte. (Nach R. A. ALPHER und R. C. HERMAN [2])

Bild von der Entstehung der Welt und der Elemente genauer durchgerechnet und vor allem bemerkt, daß die Häufigkeit der Elemente, aufgetragen als Funktion des Atomgewichtes A, ganz ähnlich verläuft wie die spiegelbildlich aufgetragene Kurve der Wirkungsquerschnitte für Neutronen von ~ 1 MeV. Beide Kurven (Fig. 5) zeigen einen etwa linearen Abfall bis $A \sim 100$ und bei $A > 100$ nahezu konstante Werte; nur die Kerne mit „magischen" Neutronenzahlen, d. h. abgeschlossenen Schalen, fallen in Häufigkeit und Wirkungsquerschnitt heraus. Es ist damit also — von allen Feinheiten abgesehen — jedenfalls klar, daß bei der Entstehung der Häufigkeitsverteilung der Elemente freie Neutronen von ~ 1 MeV eine wichtige Rolle gespielt haben. Wir wollen uns hier nicht in (gewiß höchst interessante) Spekulationen vertiefen, wie bei der „Urexplosion" der Welt aus einem extrem heißen und dichten „Weltenei" die ganze Hierarchie der kosmischen Gebilde, der Spiralnebel, der Sternhaufen, der Sterne usw. mit all ihren charakteristischen Eigenschaften entstanden sein könnte. Wir wollen vielmehr sehen, wie die astronomische Beobachtung im Verein mit sicheren Erkenntnissen der Physik uns direkten Einblick in die *Entwicklung bestimmter Sterne und Sterngruppen* gestattet. Wir werden so zwar noch nicht zu einem geschlossenen Bild von der Entwicklung des Weltalls gelangen; dafür behalten wir aber festen Boden unter den Füßen und können vor allem hoffen, geeignete Ansatzpunkte für die zukünftige Forschung zu gewinnen.

III. Energieerzeugung in Sternen

Als wichtigste „Lebensäußerung" der Sterne studieren wir zuerst ihre *Energieerzeugung:*

a) *Gravitationsenergie*, gleichgültig ob sie dem Einsturz interstellarer Materie (R. MAYER 1846), oder der Kontraktion des Sternes selbst (H. v. HELMHOLTZ 1854; LORD KELVIN 1861) entstammt, kann den Strahlungsenergiebedarf z. B. der Sonne höchstens für einige 10^7 Jahre decken. Für Sterne kleinerer Masse ergeben sich längere, für größere kürzere Zeiten. Im einzelnen ist der Vorgang erst von L. G. HENYEY, R. LE LEVIER und R. D. LEVÉE [18] auf moderner Basis durchgerechnet worden. So bleibt als einzige ergiebigere Quelle

b) *Kernenergie* (J. PERRIN, A. S. EDDINGTON 1919/20). Bei den Temperaturen und Dichten, welche die heutige Theorie des inneren Aufbaues der Sterne für deren innerste Zonen liefert, sind nach H. BETHE und C. F. v. WEIZSÄCKER (1938) zwei Prozesse möglich, die beide im Schlußeffekt auf die Umwandlung von Wasserstoff in Helium hinauslaufen. Wir schreiben beide (in der bekannten Notation: p Proton, β^- Elektron, β^+ Positron, ν Neutrino) an mit den Energietönungen in MeV und den Reaktionszeiten, welche W. A. FOWLER [13] für die Zustandsgrößen im Inneren der Sonne nach I. EPSTEIN und L. MOTZ [12] ($T = 13 \cdot 10^6$ °K; Dichte × Massenkonzentration des Wasserstoffs $\varrho X_H = 100$ gr/cm³) berechnet hat. In Klammern ist jeweils *der* Teil der Energieerzeugung angegeben, welcher in Form von Neutrinos geliefert wird. Diese können wegen ihres minimalen Wirkungsquerschnittes den Stern und das ganze Universum ungestört durchdringen.

1. Der pp-Zyklus (BETHE, CRITCHFIELD, SALPETER):

	Energietönung in MeV	Mittlere Reaktionszeit
$H^1(p, \beta^+ \nu) D^2$	$2 \cdot 0{,}164 + (2 \cdot 0{,}257)$	$\mathbf{14 \cdot 10^9}$ ***a***
$\beta^+ + e^- \rightarrow 2\gamma$	$2 \cdot 1{,}022$	
$D^2(p, \gamma)\, He^3$	$2 \cdot 5{,}494$	5,7 sec
$He^3(He^3, 2p)\, He^4$	12,847	10^6 *a*
$4H^1 \rightarrow He^4$	$26{,}207 + (0{,}514)$ MeV	

(Die ersten drei Reaktionen kommen im ganzen Zyklus zweimal vor.)

2. Der CN-Zyklus (BETHE, v. WEIZSÄCKER):

	Energietönung in MeV	Mittlere Reaktionszeit
$C^{12}(p,\gamma)\,N^{13}$	1,945	$\mathbf{1{,}3\cdot 10^7}\,a$
$N^{13}(\beta^+\nu)\,C^{13}$	1,502 + (0,720)	7,0 min
$C^{13}(p,\gamma)\,N^{14}$	7,542	$2{,}7\cdot 10^6\,a$
$N^{14}(p,\gamma)\,O^{15}$	7,347	$\mathbf{3{,}2\cdot 10^8}\,a$
$O^{15}(\beta^+\nu)\,N^{15}$	1,729 + (0,976)	82 sec
$N^{15}(p,\alpha)\,C^{12}$	4,961	$1{,}1\cdot 10^5\,a$
$4H^1 \rightarrow He^4$	25,026 + (1,696) MeV	

Bei Temperaturen *unter* etwa $15\cdot 10^6$ °K überwiegt der *pp*-Prozeß, die Energieerzeugung pro gr sec wächst dann etwa $\varepsilon \sim T^{4.1}$. Bei *höheren* Temperaturen überwiegt der CN-Prozeß. Nach obiger Tabelle bestimmt die $N^{14}\rightarrow O^{15}$-Reaktion die Geschwindigkeit des ganzen Prozesses und damit die Energieabgabe, die dann $\varepsilon \sim T^{20.3}$ herauskommt. Falls der N^{14}-Kern ein Resonanzniveau im Bereich $\sim$10 bis 50 keV besitzen sollte — was nicht ausgeschlossen erscheint —, ergibt die erste Reaktion $C^{12}\rightarrow N^{13}$ jedenfalls eine obere Grenze der Reaktionsgeschwindigkeit und der Energieerzeugung, die dann $\varepsilon \sim T^{18.3}$ verlaufen würde (vgl. Fig. 6).

3. Der sog. Salpeter-Prozeß:

Erst bei Temperaturen von $\sim 2\cdot 10^8$ °K (d.h. etwa der zehnfachen Zentraltemperatur der Hauptreihensterne) zündet ein weiterer, von E. E. SALPETER (1951) bemerkter Kernprozeß, bei dem nicht mehr Wasserstoff, sondern nur noch Helium verbrannt wird; die Energieerzeugung ist dementsprechend geringer. Er beginnt mit der leicht endothermen Reaktion

$$He^4 + He^4 + 95\,\text{keV} = Be^8 + \gamma.$$

Das instabile Be^8 besteht im thermodynamischen Gleichgewicht immerhin noch mit einer Konzentration der Größenordnung 10^{-10} und wird dann zu C^{12} aufgebaut nach dem Schema

$$He^4 + Be^8 \rightarrow C^{12} + \gamma + 7{,}4\,\text{MeV}.$$

Insgesamt kommen pro verbrauchtes He-Atom nur 2,43 MeV heraus, während die Bildung von einem He-Atom nach (1) bzw. (2) 26,2 bzw. 25,0 MeV lieferte.

IV. Entwicklung der Sonne und anderer Hauptsequenz-Sterne

Betrachten wir nun — als Beispiel — zunächst die Energiebilanz der *Sonne*: Deren Masse $M = 1{,}983\cdot 10^{33}$ gr besteht zu $\sim$57% aus Wasserstoff. Dessen vollständige Umwandlung in He nach dem *pp*-Prozeß würde $0{,}71\cdot 10^{52}$ erg liefern[1]). Bei ihrer jetzigen Leuchtkraft von $3{,}84\cdot 10^{33}$ erg/sec verbrennt die Sonne also 10% ihres Wasserstoffes — dies dürfte eben eine merkliche Änderung ihrer Eigenschaften bedingen — in $6\cdot 10^9$ Jahren. Seit ihrer Entstehung vor $\sim 5\cdot 10^9$ Jahren hat die Sonne sich also kaum geändert. Daß sie tatsächlich ein *alter* Stern ist, bezeugen das Alter der Erde und verschiedene weitere Beobachtungen in unserem Planetensystem.

Wie steht es nun mit der Energie- und Wasserstoffbilanz anderer Sterne? Betrachten wir zunächst die Sterne der sog. *Hauptsequenz*. Dazu gehört die überwiegende Mehrheit der Sterne unserer Umgebung; sie zeigen — wenigstens in ihren äußeren Schichten — alle praktisch dieselbe chemische Zusammensetzung. Masse, Leuchtkraft (d.h. Energieerzeugung/sec) und

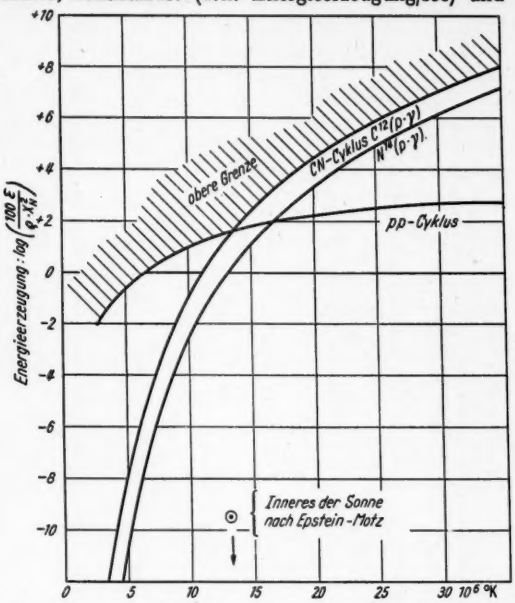


Fig. 6. Energieerzeugung ε in erg/gr sec stellarer Materie in Abhängigkeit von der Temperatur T. Nach W. A. FOWLER [13]. X_H = Bruchteil des Wasserstoff; X_{CN} = Bruchteil von C + N nach Masse; angenommen ist $X_{CN}:X_H = 0{,}5\,\%$. ϱ = Dichte

alle anderen Charakteristiken sind eindeutige Funktionen der absoluten Helligkeit oder des Spektraltyps. Das Nähere zeigt der linke Teil der Tabelle 1.

Kennen wir für einen Stern die *Masse* (in Einheiten der Sonnenmasse) $\mathfrak{M}/\mathfrak{M}_\odot$ und *Leuchtkraft* bzw. seine

Tabelle 1. *Die Sterne der Hauptsequenz und ihre Entwicklungszeit*

Spektraltyp	Oberflächentemperatur T_e	Masse $\frac{\mathfrak{M}}{\mathfrak{M}_\odot}$	Leuchtkraft $\frac{L}{L_\odot}$	Entwicklungszeit t_E in Jahren
O 7,5	38000°	25	80000	$2\cdot 10^6$
B 0	33000°	16	10000	$1\cdot 10^7$
B 5	(17000°)	6	600	$6\cdot 10^7$
A 0	9500°	3	60	$3\cdot 10^8$
F 0	6900°	1,5	6	$1{,}5\cdot 10^9$
G 0	5800°	1	1	$6\cdot 10^9$
K 0	4800°	0,8	0,4	$12\cdot 10^9$

Energieproduktion (ebenfalls bezogen auf die Sonne) $L/L_\odot$, so berechnen wir leicht auch die Zeit, in der er 10% seines Wasserstoffes verbrennt; wir nennen sie kurz seine *Entwicklungszeit* t_E

$$t_E = 6\cdot 10^9\cdot \frac{\mathfrak{M}/\mathfrak{M}_\odot}{L/L_\odot}\ \text{Jahre}. \qquad (3)$$

Unsere Tabelle 1 zeigt, daß die kühleren Sterne der Hauptsequenz etwa unterhalb F 5, mit Massen $< 1{,}3\,\mathfrak{M}_\odot$ offenbar seit ihrer Entstehung (die ja höchstens $5\cdot 10^9$ Jahre zurückliegen kann) nur einen unwesentlichen Bruchteil ihres Wasserstoffes verbraucht haben. Die heißen Sterne der früheren Spektraltypen andererseits können erst vor relativ kurzen Zeiten der Größenordnung t_E „entstanden" sein. Das Alter der O- und

[1]) Der CN-Prozeß ergibt *fast* dieselbe Energiemenge. Wir brauchen daher im folgenden zwischen Energieerzeugung durch den pp- bzw. CN-Prozeß gar nicht zu unterscheiden.

B-Sterne ist sogar kürzer als ein Umlauf der Milchstraße in unserer Umgebung; solche Sterne müssen also praktisch in ihrer heutigen Umgebung entstanden sein.

Diese aufregende Einsicht hat neuerdings eine sehr direkte Bestätigung erfahren, die uns gleichzeitig Hinweise auf den Mechanismus der Entstehung geben dürfte:

V. A. AMBARTSUMIAN [3] u. a. haben nachdrücklich darauf hingewiesen, daß die absolut hellen Sterne früher Spektraltypen in der Milchstraße meist gruppenweise, in sog. *OB-Assoziationen*[1]), vorkommen.

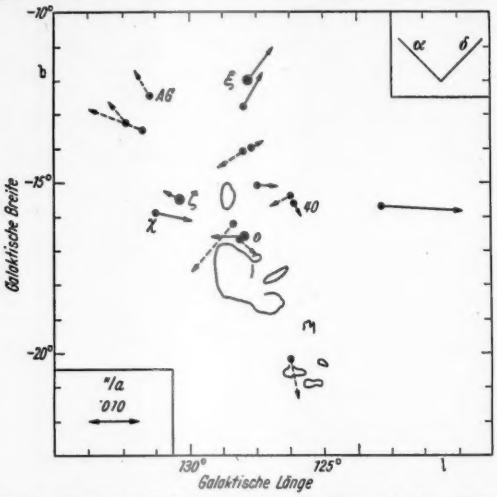


Fig. 7. Expansions-Eigenbewegungen der Sterne in der ζ Persei-Assoziation. Die Pfeile geben die Eigenbewegung in Bogensekunden/Jahr (Maßstab links unten). Ausgezogene Pfeile: Wahrscheinlicher Fehler $< \pm 0{,}003''$/Jahr; gestrichelte Pfeile: weniger genau. Die Konturen der BARNARDschen Dunkelnebel sind angedeutet. (Nach J. DELHAYE und A. BLAAUW [7])

A. BLAAUW [7a] konnte nun an Hand der Eigenbewegungen zeigen, daß die Sterne solcher Assoziationen, z. B. im Perseus und Lacerta, mit Geschwindigkeiten von ~10 km/sec von einem gemeinsamen Ursprung wegstreben. Verfolgt man in Gedanken ihre Bewegung rückwärts, so ergibt sich z. B. für die ζ Persei-Assoziation (Fig. 7) ein Alter von $1{,}5 \cdot 10^6$ Jahren, für die Lacerta-Assoziation $4{,}2 \cdot 10^6$ Jahre. Andererseits gehören die frühesten Sterne der Perseusgruppe zum Spektraltyp O7, in der Lacerta-Assoziation zum Spektraltyp O9. Nach Tabelle 1 stimmt die berechnete „Entwicklungszeit" der frühesten Sterne in beiden Assoziationen überraschend gut mit deren beobachtetem Alter überein. Die OB-Assoziationen sind stets verknüpft mit erheblichen Massen interstellarer Materie, und es ist empirisch so gut wie sicher, daß die Sterne sich aus dieser interstellaren Materie gebildet haben. Das Verständnis der Sternbildung im einzelnen aber macht noch einige Schwierigkeiten:

Geht man aus von einer Dichte der diffusen Materie entsprechend dem 100fachen der normalen interstellaren Materie, d. h. $\varrho \approx 6 \cdot 10^{-22}$ gr/cm³, so war die Materie eines Sternes von 20 Sonnenmassen ursprünglich verteilt über eine Kugel vom Radius 0,8 parsec = 2,7 Lichtjahre. Um aus dieser Entfernung auf einen *fertigen* Stern von 20 Sonnenmassen herabzustürzen, braucht die Materie schon $5{,}4 \cdot 10^6$ Jahre. Die Kondensation selbst erscheint einigermaßen möglich, aber ihre Anfangstadien sind noch wenig geklärt. Die Expansion der Assoziationen darf man vielleicht im Anschluß an J. H. OORT und L. SPITZER [28] auf die Ionisation und Erwärmung der interstellaren Materie durch die Strahlung eines anfänglichen O-Sternes zurückführen, die eine Art Raketen-Effekt hervorruft.

Aber neuerdings haben A. BLAAUW und W. W. MORGAN [8] gefunden, daß in der Gegend des Orion-Nebels die Sterne

AE Aurigae (O 9,5 V) } mit 127 km/sec vor
μ Columbae (B 0 V) } 2,6 Millionen Jahren

und

53 Arietis (B 2 V) mit 73 km/sec vor 4,8 Millionen Jahren

gestartet sind! Die Entstehung der für frühe Spektraltypen ganz ungewöhnlich hohen Geschwindigkeiten dieser Sterne der Orion-Assoziation erscheint noch ziemlich unverständlich.

V. HERTZSPRUNG-RUSSELL-*Diagramme*

Ehe wir das Problem der Sternentwicklung weiter verfolgen, müssen wir die nötigen astronomischen Grundlagen bereitstellen. Um einen Überblick über die Sterne, sei es unserer Umgebung im Milchstraßensystem, sei es eines galaktischen Sternhaufens oder eines Kugelsternhaufens zu bekommen, tragen wir diese in ein HERTZSPRUNG-RUSSELL-*Diagramm* ein. Das heißt, wir zeichnen für jeden Stern seine *absolute visuelle Helligkeit* M_v[2]) als Ordinate auf über seinem Spektraltyp, seiner Temperatur oder seinem (photoelektrisch sehr genau meßbaren) *Farbindex*. In letzterem Fall spricht man auch von *Farben-Helligkeits-Diagrammen*.

Das HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm der *Sterne unserer Umgebung* (Fig. 8) ist seit den klassischen Arbeiten von E. HERTZSPRUNG und H. N. RUSSELL (1914) wohl bekannt, die meisten Sterne gruppieren sich auf der schon erwähnten *Hauptsequenz*; rechts davon finden wir — durch eine Lücke getrennt — die *Riesensterne* (Giganten). Andere, seltenere Sterngruppen werden wir zum Teil noch kennenlernen. Es ist nun eine der wichtigsten Erkenntnisse der neueren Astronomie, daß bestimmte, offenbar auch genetisch zusammengehörende Gruppen von Sternen (z. B. Sternhaufen) auch jeweils ein bestimmtes, für sie charakteristisches HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm haben. Insbesondere hat W. BAADE 1944 entdeckt, daß man in unserer Milchstraße und ähnlichen extragalaktischen Nebeln unterscheiden muß zwischen den Sternen der sog. *Population I*, welcher die Spiralarme, also insbesondere auch unsere Umgebung, die OB-Assoziationen und die galaktischen Sternhaufen usw. angehören, und der *Population II*, zu welcher der Kern des Systems, die aus ihm hervorkommenden Schnelläufer sowie die Kugelsternhaufen usw. gehören. Während die Population I ein HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm entsprechend unserer Umgebung besitzt,

[1]) Auf die sog. T-Assoziationen AMBARTSUMIANS (aus kühlen Zwergsternen im Bereich der großen Dunkelnebel) können wir hier nicht näher eingehen.

[2]) Für Sterne in einer einheitlichen Entfernung von r parsec unterscheiden sich — nach der bekannten Definition der Magnitudines — die scheinbare Helligkeit m und die absolute Helligkeit M um den festen sog. *Entfernungsmodul* $m - M = 5 \cdot \log_{10}(r/10)$. (Hat man interstellare Absorption, so ist m vorher darauf zu korrigieren.)

sieht das der Population II ganz anders aus. Selbstverständlich darf man die Einteilung in *zwei* Populationen nicht zu schematisch auffassen; offenbar hat jedes kosmische Gebilde einheitlichen Ursprunges ein für es charakteristisches HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm. Der Vergleich der HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramme verwandter Gebilde wird damit ein hervorragendes Werkzeug zum Studium ihrer *Entwicklung*.

Wir untersuchen zunächst einige charakteristische Gebilde der Population I, dann solche der Population II und fragen schließlich nach deren Unterschieden und Zusammenhängen.

VI. Entwicklung von Sternen der Population I. — Galaktische Sternhaufen

Aus der Population I haben wir bereits die *OB-Assoziationen* besprochen. Ihr HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm enthält nur den „hellsten" Teil der Hauptsequenz, entsprechend ihrem jugendlichen Alter.

Sodann studieren wir — als relativ gut abgegrenzte Objekte — die *galaktischen Sternhaufen*.

In Fig. 9 sind — nach H.L. JOHNSON und A.R. SANDAGE [*21*] — die HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramme einiger galaktischer Sternhaufen (ausgezogene Linien; die hellen Linienzüge, welche sich auf die Kugelsternhaufen M92 und M3 beziehen, betrachten wir später), schon korrigiert für interstellare Absorption und Verfärbung, zusammengestellt. Im Sinne der in Tabelle 1 zusammengefaßten Rechnungen über die Energieerzeugung und den Wasserstoffverbrauch der Hauptsequenzsterne schließen wir zunächst, daß χ und h Persei sowie NGC 2362 mit ihren extrem hellen O- und B-Sternen kaum älter als 3 Millionen Jahre sein können. Auf der anderen Seite scheint ihre Hauptsequenz nur etwa bis zu den A0-Sternen herunter zu reichen. Dies könnte man nach den schon erwähnten Rechnungen von L. HENYEY u. a. [*18*] darauf zurückführen, daß die kühleren Hauptsequenzsterne sich noch gar nicht kondensieren konnten. Das Alter dieser jüngsten Sternhaufen beträgt also nur 2 bis 3 Millionen Jahre, einen Bruchteil der Umlaufzeit der Milchstraße. Die Pleiaden, Hyaden, Praesepe, NGC 752 sind sukzessive älter, und M 67 ist der älteste zur Zeit bekannte Sternhaufen. Die Hauptsequenz ist hier bis $M_v \approx +3{,}5$, d.h. bis zu den F2-Sternen herunter, abgebaut; nach Tabelle 1 ist M 67 also fast ebenso alt wie das Weltall selbst, $\sim 5 \cdot 10^9$ Jahre. Daß es keine älteren Haufen gibt, ist danach nicht erstaunlich! Das Auftreten von Riesensternen jeweils gerade bei *den* absoluten Helligkeiten M_v, wo die Hauptsequenz oben aufhört, deutet darauf hin, daß Sterne, die einen erheblichen Bruchteil ihres Wasserstoffes verbraucht haben, im HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm nach rechts und etwas nach oben abwandern. Die links zu denkende Einhüllende der Hauptsequenzen der einzelnen Haufen in Fig. 9 ist dann die „*Standard-Hauptsequenz*" der Sterne, welche sich ganz kontrahiert, aber noch keinen wesentlichen Bruchteil ihres Wasserstoffes verbraucht haben. Sterne, die in unteren Teilen des HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramms rechts von der Standardhauptsequenz liegen, wären danach noch nicht ganz kontrahiert (vgl. L.G. HENYEY u. a. [*18*] sowie M. WALKERS [*35*] Beobachtungen an NGC 2264); solche die oben rechts liegen, hätten schon einen merklichen Teil ihres Wasserstoffes verbrannt. Die Anfangstadien dieses letzteren Prozesses konnten M. SCHÖNBERG und S. CHANDRASEKHAR [*32*], M.H. HARRISON [*17*] u. a. theoretisch deuten unter der Annahme, daß der Wasserstoff nur

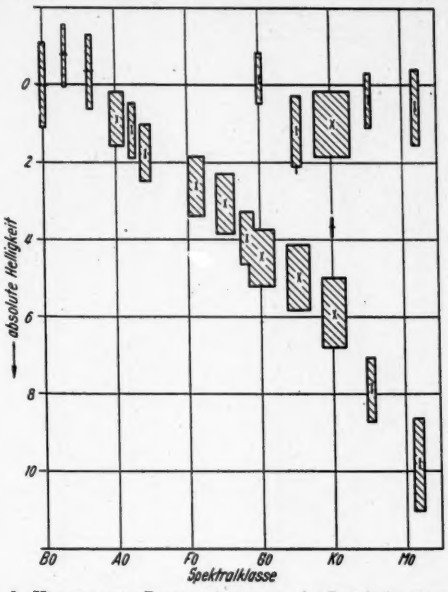


Fig. 8. HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm der Population I unserer Umgebung nach trigonometrischen Parallaxen. (Die Höhe der Rechtecke entspricht der Streuung der absoluten Helligkeiten M_v; deren Breite entspricht der Anzahl der Meßwerte pro Gruppe)

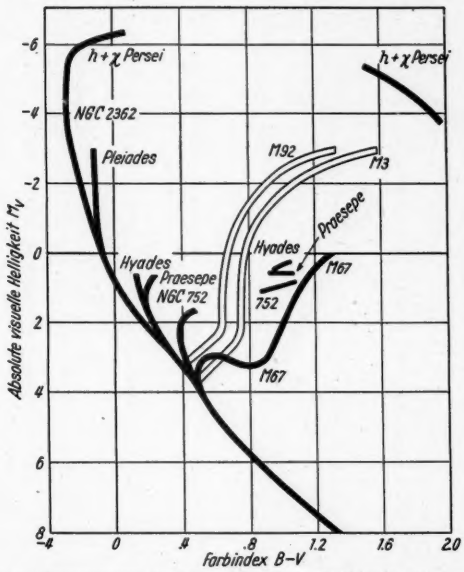


Fig. 9. HERTZSPRUNG-RUSSELL- oder Farben-Helligkeits-Diagramme der galaktischen Sternhaufen $h+\chi$ Persei, NGC 2362, Pleiaden, Hyaden, Praesepe, NGC 752, M 67. Zum Vergleich — dünn eingezeichnet — die Diagramme der Kugelsternhaufen M92 und M3. (Nach H.L. JOHNSON und A.R. SANDAGE [*21*])

in einer begrenzten, heißen Reaktionszone im Inneren des Sternes in Helium umgewandelt wird, daß aber die übrige Materie mit diesen „Verbrennungsrückständen" *nicht* durchmischt wird. Neuere theoretische Untersuchungen sprechen auch per se dafür, daß

Diffusion und Konvektion *im allgemeinen* eine Durchmischung der stellaren Materie *nicht* bewerkstelligen können. Dieses äußerst wichtige astrophysikalische Problem dürfte aber noch weitere Untersuchungen lohnen. Die Theorie der späteren Entwicklungsstadien der Haufensterne — oder sagen wir etwas allgemeiner — der Population I-Sterne ist zur Zeit noch nicht geklärt. Es ist die Vermutung ausgesprochen worden, daß die ältesten Sterne als weiße Zwerge, weit links unter der Hauptsequenz, enden. In den *Hyaden* fanden H. L. JOHNSON und C. F. KNUCKLES [*22*] (bei $B-V > 0{,}4$) etwa 2^m unter der Hauptsequenz eine schwächer bevölkerte Sequenz von Unterzwergen (subdwarfs); auch deren entwicklungsmäßige Stellung ist nicht geklärt.

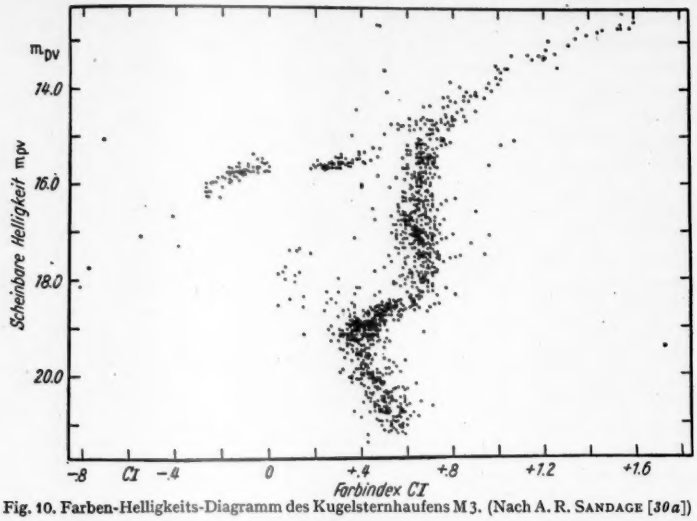


Fig. 10. Farben-Helligkeits-Diagramm des Kugelsternhaufens M 3. (Nach A. R. SANDAGE [*30a*])

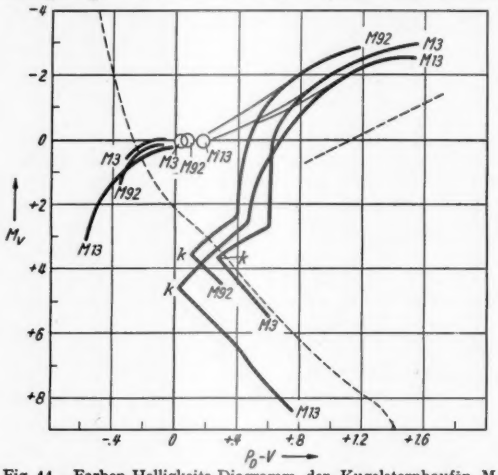


Fig. 11. Farben-Helligkeits-Diagramm der Kugelsternhaufen M 3, M 92 und M 13 nach W. H. BAUM [*5b*]. Die absoluten Helligkeiten M_v beruhen darauf, daß in allen drei Haufen die Haufenveränderlichen (O) $M_v \approx 0{,}0$ haben. Das Diagramm der Population I-Sterne unserer Umgebung ist schematisch gestrichelt eingezeichnet

Damit verlassen wir die Objekte der Population I, als der Bevölkerung der „Scheibe" unserer Milchstraße und entsprechender Spiralnebel und studieren die schwächer zur Zentralebene hin konzentrierten Objekte der Population II, zunächst die *Kugelsternhaufen*.

VII. Entwicklung der Sterne der Population II — Kugelsternhaufen. — Schnelläufer

Die grundlegenden Arbeiten H. SHAPLEYs (ab 1918) über die *Entfernungsbestimmung* der Kugelhaufen mittels der *kurzperiodischen Cepheiden* oder — wie man auch sagt — *Haufenveränderlichen* haben wir schon erwähnt. In den letzten Jahren sind nun ganz entscheidende neue Ergebnisse mit den mächtigen Instrumenten der Mt. Wilson- und Mt. Palomar-Observatorien von einer Gruppe jüngerer Astronomen: H. C. ARP, W. A. BAUM, A. R. SANDAGE, M. WALKER u. a. unter der meisterhaften Leitung von WALTER BAADE erzielt worden.

Fig. 10 zeigt das von A. R. SANDAGE [*30a*] bis $m_{pv} = 21$ herunter verfolgte HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm des Kugelsternhaufens M 3. Erst diese neueren Arbeiten haben unten ($m_{pv} > 19$) die schwachen Sterne der *Hauptsequenz* erkennen lassen. Die hellsten Sterne des Haufens (rechts oben) sind rote Riesen. Von hier aus zieht sich — völlig anders als in unseren früheren Diagrammen — bei $m_{pv} \approx 16$ ein Ast nach links (heiße Sterne); in seiner Lücke sind *alle* Sterne veränderlich; hier sitzen die schon erwähnten *Haufenveränderlichen* (in Fig. 10 nicht eingezeichnet). Deren bekannte absolute Helligkeit $M_v = 0{,}0$ erlaubt nun nach H. SHAPLEY, die Entfernungen der einzelnen Haufen zu bestimmen und ihre HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramme in der richtigen Weise übereinander zu schieben. In Fig. 11 nach W. A. BAUM [*5b*] ist dies für die drei Kugelsternhaufen M 3, M 92 und M 13 geschehen; zum Vergleich ist das HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm der Population I-Sterne unserer Umgebung (schematisch) gestrichelt mit eingezeichnet.

Sehen wir für den Augenblick noch von den — sogleich zu besprechenden — Unterschieden der Hauptsequenzen ab, so fällt auf, daß diese oben bei $M_v \approx 3{,}5$ abbiegen, wie bei dem „archaischen" galaktischen Sternhaufen M 67. Man kommt so zu der Auffassung, daß der nach rechts abbiegende rote — Riesenast und der flache obere Ast (mit den Haufenveränderlichen) im HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm eines Kugelhaufens aus Sternen mit ~ 1 bis 2 Sonnenmassen bestehen (die wesentlich massigeren Sterne haben sich so rasch weiterentwickelt, daß sie vermutlich verschwunden sind), die ursprünglich etwa bei $M_v \approx 3{,}5$ auf der Hauptsequenz saßen und sich unter Verbrauch ihres Wasserstoffes weiter entwickelt haben. Diesen Entwicklungsprozeß selbst haben A. R. SANDAGE [*30b*], M. SCHWARZSCHILD und F. HOYLE [*19*] u. a. in folgender Weise theoretisch zu interpretieren versucht: Zunächst wird in der inneren „Verbrennungszone" des Sternes (Durchmischung soll also *nicht* stattfinden) der Wasserstoff mehr und mehr in Helium umgewandelt. Hierbei rückt der Stern im HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm nach *rechts* (d. h. wird roter) und ein wenig höher (d. h. wird etwas heller). Sind $\sim 20\%$ des gesamten Wasserstoffes verbraucht, so gewinnt

die Konvektion in den äußeren Schichten größere Bedeutung und der Stern wandert nach oben und dann rechts oben, also in den *roten Riesenast*, bis ~50% des Wasserstoffes verbrannt sind. Dann steigt die Temperatur im Inneren etwas über $\sim 10^8$ °K, und der *Salpeter*-Prozeß ($3\,He^4 \rightarrow C^{12}$) ermöglicht dem Stern noch, verhältnismäßig rasch nach links zu wandern bis ~80% des Wasserstoffes verbrannt sind; er wird außen heißer, schrumpft aber zusammen, so daß seine Leuchtkraft insgesamt abnimmt.

Diese — in der tatsächlichen Durchrechnung sehr diffizile — Theorie enthält noch eine ganze Reihe von Punkten, die der weiteren Klärung bedürfen. Vom Standpunkt des Beobachters aus wäre weiterhin zu fragen: „Worauf beruht der Unterschied der drei HERTZSPRUNG - RUSSELL - Diagramme in Fig. 11?" W.A. BAUM ordnet diese — und einige weitere — Kugelhaufen in die Sequenz

Kugelsternhaufen	M 3	5	15	2	92	13	10
Anzahl der Haufenveränderlichen:	165	71	60	13	13	4	0

Deren Realität wird dadurch gestützt, daß die *Zahl der Haufenveränderlichen* in ihr von links nach rechts abnimmt. Weiterhin liegen im allgemeinen die rechten Haufen mit wenig Veränderlichen näher an der Milchstraßenebene als die (linken) Haufen, welche viele Veränderliche enthalten.

Ob die obige Anordnung als Entwicklungssequenz aufgefaßt werden darf und welches eventuell deren astrophysikalische Hintergründe sind, ist noch unbekannt.

Ganz unerwartet — auch vom Standpunkt der oben geschilderten theoretischen Entwicklungen aus — war die Beobachtung von W.A. BAUM [*5b*], daß die Hauptsequenz von M 13 etwa 2^m *unter* der des M 3 und der der Population I (in Fig. 11 gestrichelt) liegt. M 13 hat also tatsächlich *nur* eine Sequenz von *Unterzwergen*, die übrigens genau der in den *Hyaden* unter der eigentlichen Hauptsequenz schwach angedeuteten entspricht!

Ehe wir uns weitergehenden Fragen zuwenden, wäre es angebracht, zum Vergleich mit den Kugelhaufen andere Population II-Gebilde genauer zu studieren. Die *elliptischen Nebel* (uns am nächsten stehen die beiden Begleiter des Andromedanebels) und der *Kern unserer Milchstraße* (der großenteils hinter dichten Dunkelwolken verdeckt ist) sind zur Zeit einer detaillierten Untersuchung noch nicht zugänglich. So bleiben als einzige Gruppe von Sternen, die man gewöhnlich zur Population II rechnet, die sog. *Schnelläufer*. Dies sind Sterne, welche sich auf verhältnismäßig langgestreckten Bahnen um das galaktische Zentrum bewegen; sie haben relativ zur Sonne daher *hohe Geschwindigkeiten* (der Unterzwerg CD −29° 2277 hat eine Radialgeschwindigkeit von +536 km/sec), deren Vektoren vorzugsweise in die unserer eigenen Bewegung (galaktische Länge 55°) entgegengesetzte Hemisphäre weisen. Das HERTZSPRUNG-RUSSELL-Diagramm der Schnelläufer (Fig. 12) hat mit dem der Kugelsternhaufen insofern eine gewisse Ähnlichkeit, als die Hauptsequenz oberhalb F 4 ebenfalls fehlt. Dies spricht — wie auch andere Überlegungen — dafür, daß wir es mit alten Sternen zu tun haben. Unterhalb der Hauptsequenz ist — in einem mittleren Abstand von 1 bis 2^m — auch die Sequenz der Unterzwerge erkennbar (deutlicher bei A.H. JOY [*23*]). Der *Riesenast* des Schnelläuferdiagrammes dagegen deckt sich praktisch mit dem der Population I unserer Umgebung und liegt rund 2^m *unter* dem der Kugelhaufen. Vielleicht sollte man eher von einer „alten Population I" sprechen? Auf jeden Fall wird das Schema der zwei Populationen weiter differenziert werden müssen — wie dies ja mit allen Begriffen im Laufe der Zeit geschieht.

Genauere Betrachtung zeigt zunächst, daß die ursprünglich nur nach kinematischen Gesichtspunkten

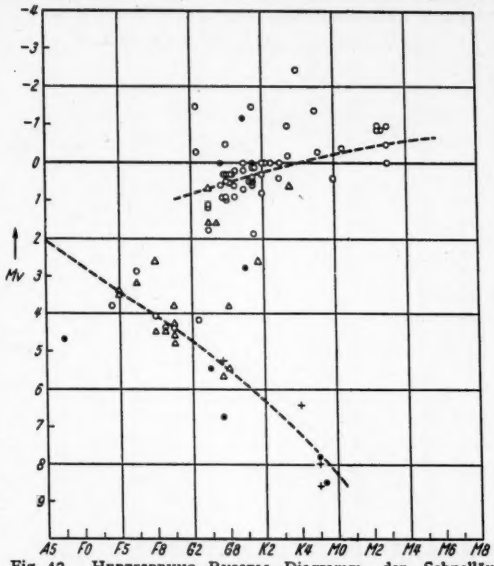


Fig. 12. HERTZSPRUNG - RUSSELL - Diagramm der Schnelläufer (>85 km/sec) unseres Milchstraßensystems. Absolute Helligkeiten M_v: ○ spektroskopisch; ● trigonometrisch oder dynamisch; △ Mittel aus beiden; × einige Mt. Wilson-Beobachtungen. Zum Vergleich ist das Population I-Diagramm wieder gestrichelt eingezeichnet. (Nach P.C. KEENAN und G. KELLER [*24*])

ausgewählte Gruppe der Schnelläufer in mehrere Teilgruppen zerlegt werden kann, die sich physisch *und* kinematisch unterscheiden, z.B. die *Mirasterne* (veränderliche rote Riesen mit Perioden von ~150 bis 350^d), die RR *Lyrae-Sterne* (Haufenveränderliche) und die *Unterzwerge* (subdwarfs). Die letzteren zeigen den Schnelläufer-Charakter am ausgeprägtesten und bilden einen erheblichen Bruchteil der Sterne mit großer Geschwindigkeitskomponente senkrecht zur Milchstraßenebene. Diese Bemerkung von H.C. ARP [*4*] — vgl. auch W. FRICKE [*15*] — läßt das Überwiegen der Unterzwerge in M 13 jedenfalls nicht mehr so erstaunlich erscheinen. In theoretischer Hinsicht sind die Beziehungen zwischen physischen und kinematischen Eigenschaften der Sterne noch ganz undurchsichtig. Was soll man z.B. dazu sagen, daß nach O. STRUVE [*34*] die RR Lyrae-Sterne mit Perioden >0,4 d im Durchschnitt erheblich größere Radialgeschwindigkeiten haben als die mit Perioden <0,4 d?!

VIII. Unterschiede der Populationen I und II. — Spektroskopische Probleme der Sternentwicklung

Hinter allen diesen Untersuchungen und Überlegungen steht, wie ein Gespenst, die Frage: „Warum durchlaufen die Sterne der Population I und II, insbesondere die galaktischen und die Kugelsternhaufen,

eine verschiedene Entwicklung? Worin bestehen eigentlich ihre physikalischen Unterschiede?"

Man kann diese Frage von der spektroskopischen Seite her angreifen; wir suchen also nach spektralen Unterschieden der Population I-Sterne unserer Umgebung und der Population II-Sterne z.B. der Kugelsternhaufen sowie der Unterzwerge oder Schnelläufer in der Milchstraße. Die praktische Schwierigkeit, daß die Objekte der zweiten Gruppe durchweg sehr lichtschwach sind, sei nur am Rande erwähnt.

Der Sternspektroskopiker versucht, seine Objekte *praktisch* zunächst nach *zwei Parametern* zu klassi-

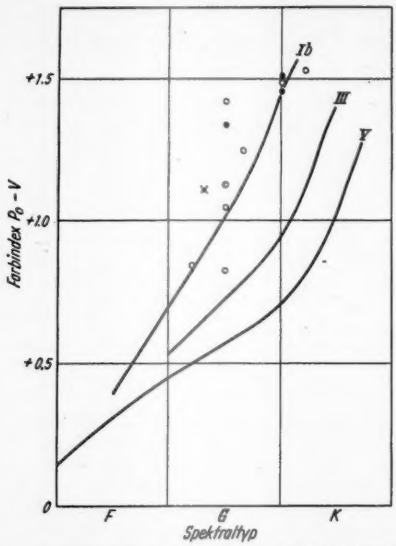


Fig. 13. Zusammenhang zwischen Spektraltyp (Abszisse), Farbindex $P_0 - V$ (Ordinate) und Leuchtkraftklasse LC nach Morgan. Die Kurven beziehen sich auf die Population I-Sterne unserer Umgebung mit LC = V (Hauptsequenz), III (Riesensterne) und Ib (Übergiganten). In dieses Diagramm sind eingetragen rote Riesensterne der Kugelsternhaufen: ○ M 13, ● M 3, × M 92. (Nach W.A. Baum [5b])

fizieren: Spektraltyp (Sp) und Leuchtkraftklasse (LC). Dürfen wir annehmen, daß die Sterne *eine* Masse-Leuchtkraft-Temperatur-Beziehung befolgen, so kann man ebensogut nach Spektraltyp und absoluter Helligkeit M_v ordnen. Nach unseren heutigen Vorstellungen trifft das letztere für alle Sterne *nicht* zu, die einen wesentlichen Teil ihres Wasserstoffes schon verbraucht haben, alo insbesondere z.B. nicht im oberen Teil des Hertzsprung-Russell-Diagramms der Kugelhaufen.

Die *Theorie* der Sternatmosphären auf der anderen Seite lehrt, daß das Spektrum einer Sternatmosphäre von bekannter und fest gegebener *chemischer Zusammensetzung* bestimmt sei durch die zwei Parameter: (effektive) Temperatur T_e und Schwerebeschleunigung an der Sternoberfläche g[1]). Unter der *Annahme*, daß die chemische Zusammensetzung der Sterne einheitlich ist und daß weitere Parameter (z.B. Rotation der Sterne oder in die Materie „eingefrorene" Magnetfelder) keine Rolle spielen, sollte also die „praktische" (Sp, LC)-Klassifikation durch eine einfache Koordinatentransformation mit der „theoretischen" (T_e, g)-Klassifikation zusammenhängen. Fällt ein Stern aus dieser *zwei*dimensionalen Mannigfaltigkeit heraus, so *muß* er sich von den anderen durch Zusammensetzung, Magnetfeld oder irgendeinen anderen *weiteren* Parameter unterscheiden.

Nach diesen allgemeinen Bemerkungen erörtern wir einige spezielle Beobachtungen:

Die *roten Riesen der Kugelsternhaufen* würden nach ihrem Farbindex zunächst ein Spektrum etwa vom Typ K 0 erwarten lassen; statt dessen findet man z.B. in M 92 einen wesentlich früheren Spektraltyp, etwa F 6. In Fig. 13 ist — nach W.A. Baum [5b] — durch die Kurven zunächst der Zusammenhang zwischen dem gewählten Farbindex, dem Spektraltyp Sp und der Leuchtkraftklasse LC dargestellt. Die Meßpunkte für die roten Riesen dreier Kugelsternhaufen liegen noch links von der Kurve für die Übergiganten der LC Ib. Dies paßt zunächst gar nicht zu der mäßigen absoluten Helligkeit dieser Sterne. Gehen wir aber davon aus, daß deren Massen (~1,3 ⊙) erheblich kleiner sind als *die* entsprechender Population I-Sterne, so finden wir auch eine „zu kleine" Schwerebeschleunigung g, und es wird verständlich, daß die Spektren sozusagen Über-Übergiganten simulieren! Nach den — bisher nur qualitativen — Beschreibungen der Spektren bleiben aber auch nach Berücksichtigung dieses Effektes noch Abweichungen vom normalen (Sp, LC)-Schema übrig, ähnlich den an den Population II-Sternen unseres Milchstraßensystems genauer untersuchten Effekten. Wir wenden uns daher sogleich den letzteren zu.

Die *Unterzwerge* und jedenfalls ein erheblicher Teil der *Schnelläufer* in unserem Milchstraßensystem, also typische Population II-Sterne, unterscheiden sich von den „normalen" Population I-Sternen durch relativ kleine, aber noch deutlich erkennbare spektroskopische Unterschiede. In concreto ist es aber schwierig, genaue Angaben zu machen, da insbesondere in der älteren Literatur vielfach nicht zu ersehen ist, welche Kriterien für die (Sp, LC)-Klassifikation verwendet wurden. Einigermaßen sicher scheint zu sein, daß die Population II-Sterne der Spektraltypen F 5—G 5 schwächere Metallinien, eine stärkere G-Bande der CH-Molekel und schwächere CN-Absorption haben als normale Sterne.

Die unbedingt nötige quantitative Klärung dieser Effekte steht noch in den ersten Anfängen. Sorgfältige Messungen von P. Wellmann [36] ergaben für einen weak-line-star (der allerdings *kein* Schnelläufer ist!) 10 bis 12% *stärkere* Linien der neutralen und ionisierten Metalle als für einen Vergleichsstern! Wir verweisen insbesondere auf die Arbeit von P.C. Keenan und G. Keller [24] sowie die Untersuchungen von Kuiper, Popper, Roman u. a.

Die Interpretation der angegebenen Kriterien — Richtigkeit der Beobachtungen vorausgesetzt — ist dadurch erschwert, daß für das Metallinienkriterium ein fester Bezug (z.B. genaue Farbindizes) praktisch nahezu fehlt; die Interpretation der Bandenintensitäten ist sehr kritisch wegen der Empfindlichkeit der aus zahllosen unaufgelösten Linien bestehenden Banden gegenüber Turbulenz, Schichtungseffekten und ähnlichen Faktoren, die sonst die Fraunhofer-Linien nur relativ schwach beeinflussen.

Trotz dieser Schwierigkeiten haben M. Schwarzschild, L. Spitzer und R. Wildt [33] es gewagt, die Beobachtungen versuchsweise in dem Sinne zu interpretieren, daß in den Population II-Sternen die *Häufigkeit* der leichten Nichtmetalle (C, N, O) relativ

[1]) Die Sonne z.B. hat eine effektive Temperatur $T_e = 5780°$ K und eine Schwerebeschleunigung $g = 2{,}74 \cdot 10^4$ cm sec^{-2} oder dem 28fachen der Beschleunigung an der Erdoberfläche.

zum Wasserstoff etwa zweimal und die der Metalle ungefähr dreimal *kleiner* sei als in den Population I-Sternen.

Die Population II unterschiede sich danach von I wesentlich durch die *chemische Zusammensetzung* der Stellarmaterie. Spektroskopisch ist hier sehr schwer weiterzukommen, da die Genauigkeit der quantitativen Spektralanalysen verschiedenartiger Sterne zur Zeit etwa durch einen Fehlerfaktor ~ 2 begrenzt ist. Man wird also zunächst nur durch sehr diffizile differentielle Messungen weiterkommen. Nach der astronomischen Seite bietet die Auffassung von SCHWARZSCHILD, SPITZER und WILDT meines Erachtens große Schwierigkeiten. Die Autoren selbst denken an die Möglichkeit, daß die Population I-Sterne aus interstellaren Wolken entstanden seien, und daß dabei die bereits zu kosmischem Staub kondensierte Materie vorwiegend die schwereren Elemente herbeigebracht habe. Aber einmal ist eine teilweise Trennung von Staub und Gas wegen der Strömungen und der inneren Reibung kaum möglich und auch nicht beobachtet. Vor allem aber versteht man nicht, weshalb die Population II-Sterne sich von den praktisch gleichaltrigen Population I-Sternen, wie der Sonne, chemisch unterscheiden sollen. Vielleicht sollte man doch eher von den kinematischen Unterschieden der Population I- und -II-Sterne und ihrem Ursprung ausgehen und auch an Unterschiede im Aufbau der Atmosphären der Population I- und -II-Sterne denken (Magnetfelder, Turbulenz)?

Die Spektroskopie der Sterne legt es nahe, das Problem ihrer Entwicklung noch von einer ganz anderen Seite her anzufassen:

Im Inneren der Sterne wird, wie wir sahen, der *Wasserstoff* bei den heißen Sternen durch den CN-Zyklus, bei den kühleren durch den pp-Zyklus in *Helium* verwandelt. Sollte nicht, wenigstens gelegentlich, eine *Durchmischung* des Sternes „verbrauchte" Stellarmaterie mit viel Helium an die Oberfläche bringen? In der Tat kennt man einige wenige Sterne, deren Atmosphären fast keinen Wasserstoff, sondern nur Helium und schwerere Elemente enthalten. In Fig. 14 nach D.M. POPPER [*29*] vergleichen wir z.B. die Mikrophotometerkurve des Heliumsternes HD 124448 mit der des analogen normalen B3-Sternes ι Lupi. Die quantitative Grobanalyse eines analogen Heliumsternes HD 160641 durch L.H. ALLER [*1*] zeigte, daß das Häufigkeitsverhältnis He : schwerere Elemente (C, N, O, Ne, Mg, Si) ungefähr dasselbe ist wie in normalen Sternen. Dies würde für die Hypothese der Elementumwandlung sprechen. Auf jeden Fall möchte man, um sicher zu gehen, auch noch eine quantitative Untersuchung über die Anregung der verschiedenen Quantenzustände des Heliums in den Heliumsternen haben. Über die kosmische Stellung der Heliumsterne können wir nur sagen, daß ihre Radialgeschwindigkeiten nicht ungewöhnlich sind. Warum diese Sterne durchmischt werden und andere nicht, dies bleibt vorläufig ihr Geheimnis.

Fast noch aufregender ist die Beobachtung, daß es N- und R-Sterne gibt, in denen — nach Ausweis ihrer Bandenspektren — das *Häufigkeitsverhältnis der*

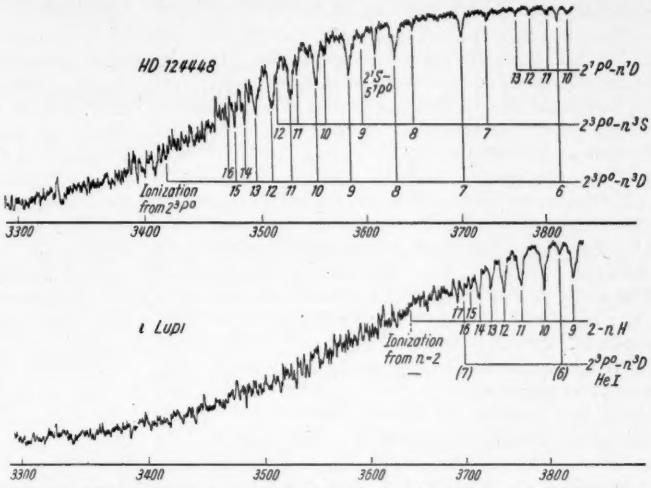


Fig. 14. Mikrophotometerkurven der Spektren des „Heliumsternes" HD 124448 und des normalen B3-Sternes ι Lupi. In ersterem (oben) fehlt die BALMER-Serie des Wasserstoffes ($2-n$, H) völlig, dafür sind die Serien des Heliums mit großer Vollständigkeit vertreten. (Nach D.M. POPPER [*29*])

Kohlenstoffisotope $C^{12}:C^{13}$ nicht — wie auf der Erde und anderen Sternen — ≈ 90, sondern auf viel kleinere Werte bis $3{,}4 \pm 0{,}16$ herabgesetzt ist. Man könnte

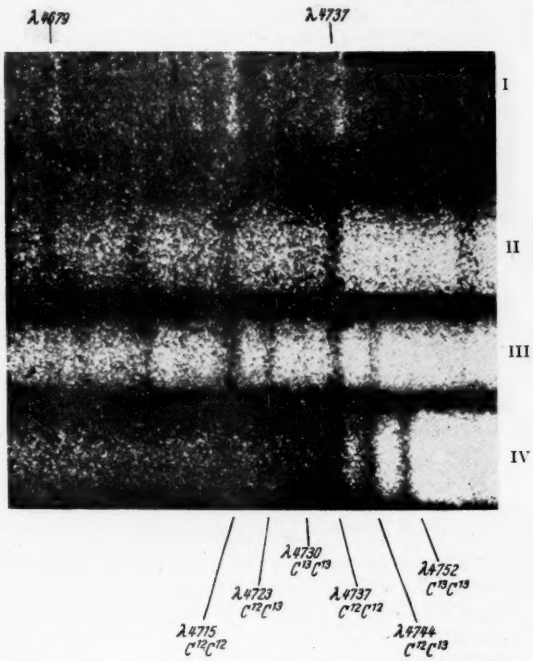


Fig. 15. Isotopieeffekt der C_2-Bande λ 4737 in R-Sternen. (Nach A. MCKELLAR [*26*]). I Eisen-Bogen; II H.D. 182040, R2; III H.D. 5223, R3; IV H.D 19557, R 6.

zunächst daran denken, daß es sich hier um Stellarmaterie handle, welche ganz oder teilweise den CN-Zyklus durchlaufen hat. Unter den Verhältnissen, wie

wir sie heute für das Innere der Sonne annehmen, würde dieser z. B. nach unserer früheren Tabelle (analog den bekannten Gesetzen radioaktiver Gleichgewichte) ein Isotopenverhältnis $C^{12}:C^{13} \approx 4{,}7$ einstellen. Das sieht zunächst ganz vernünftig aus, aber eine andere Beobachtung verursacht große Schwierigkeiten: Viele N- und R-Sterne zeigen auch sehr stark die Resonanzlinie des *Lithiums* λ 6708 Å. Und Lithium müßte ja bei Anwesenheit energiereicher Protonen momentan zerstört werden.

Diese Bedenken werden unterstrichen durch P. W. MERRILLS [*26*] Entdeckung von Linien des instabilen und seiner Zeit erst von E. SEGRÈ u. a. künstlich erzeugten Elementes *Technetium* Tc ($Z = 43$) in mehreren S-Sternen. Das Auftreten der Tc-Linien in kühlen Sternen in Verbindung mit der Beobachtung von Höhenstrahlungsausbrüchen bei großen Sonneneruptionen legt den Gedanken nahe, daß in den Atmosphären mancher Sterne genügend energiereiche Teilchen (Protonen und α-Teilchen) erzeugt werden, um durch Kernprozesse merkliche Änderungen in der chemischen Zusammensetzung der äußeren Schichten des Sternes zu bewirken (hierzu vgl. L. BIERMANN [*6*]).

F. HOYLE, W. A. FOWLER und J. GREENSTEIN [*14*] sowie A. G. W. CAMERON [*9*] andererseits haben die Hypothese erörtert, daß Materie, die in größeren Tiefen durch Kernreaktionen in ihrer Zusammensetzung verändert wurde, unter besonderen Umständen an die Sternoberfläche gelangen könne. Dieser Vorschlag steht in Verbindung mit F. HOYLES Auffassung, daß diese mit schweren Elementen angereicherte Materie dann in das interstellare Medium gelange, von da wieder zu Population I-Sternen kondensiert werde usw. Es dürfte jedoch meines Erachtens auf keinen Fall möglich sein, so eine größere Häufigkeit der schweren Elemente in den Population I-Sternen relativ zu den Population II-Sternen zu erklären; die Sonne als *alter* Population I-Stern müßte dann dieselbe Zusammensetzung wie die Population II-Sterne haben. Wir möchten überhaupt gegenüber der — zunächst sehr attraktiven — Konstruktion eines vollständigen „astronomischen Weltbildes" im Stile von F. HOYLE eine sehr zurückhaltende Einstellung einnehmen. Es erscheint uns aussichtsreicher, von den in der Beobachtung gegebenen Ansatzpunkten aus so weit vorzudringen, wie dies mit einiger Sicherheit möglich ist und die — gewiß sehr verlockende — Synthese dieser Ergebnisse der zukünftigen Forschung zu überlassen.

Im Zusammenhang mit dem Tc-Problem interessiert natürlich auch die Häufigkeit des durch Protonen schon sehr mäßiger Energie rasch zerstörten *Lithiums* in verschiedenartigen kosmischen Gebilden. Nach J. GREENSTEIN und R. S. RICHARDSON [*16*] ist in den äußeren Zonen der Sonne seit der Bildung der Erde ein erheblicher Teil des Li zerspalten worden; dies erscheint auch theoretisch durchaus plausibel. Andererseits zeigen — wie schon bemerkt — manche R- und N-Sterne eine sehr starke Li-Resonanzlinie λ 6708. Leider bietet die quantitative Analyse dieser kühlen Sterne zur Zeit noch nicht überwundene Schwierigkeiten.

IX. Schlußbemerkungen

Wir beschließen damit unseren Bericht über das, was die Forschung heute mit einiger Sicherheit sagen kann. Es sollte gar nicht der Versuch gemacht werden, irgendwie ein fertiges „Weltbild" zu präsentieren. Viel wichtiger scheint uns die Einsicht, daß es eine Reihe von *Wegen* gibt, die von der sicheren Grundlage der *Beobachtung* aus unter Verwendung ebenso sicherer Elemente der *theoretischen Analyse* auf ein gemeinsames Ziel *hinführen*, nämlich das *Verständnis des Aufbaues und der Entwicklung des gesamten Weltalls.*

Sind wir damit — um noch einmal an den Anfang unserer Betrachtung anzuknüpfen — ärmer geworden gegenüber den Zeiten, da man glaubte, unser Problem gehöre legitimerweise in den Bereich philosophischer oder theologischer Einsicht oder, sagen wir ehrlicher, Spekulation?

Dazu bemerken wir zunächst: Die Wissenschaft ist eine Wissenschaft *nur* von und für Menschen; die *heutige* Wissenschaft repräsentiert *unser* Verhältnis zur Welt im weitesten Sinne. Wir bemerken immer wieder an den großen Wendepunkten der Forschung — und es sind nicht zufällig zugleich die Wendepunkte der Geschichte —, wie der menschliche Geist aus unbekannten Tiefen die Fähigkeit empfängt, die Gesetze des Weltalls ein neues Stück weit zu begreiten. Ist nicht dieses Einswerden des „Ich" mit dem „Anderen", das im Sinne des großen CUSANERS [*11*] zugleich das „Nichtandere" ist, auch ein wesentliches Stück wirklicher Religion?

Literatur

Zusammenfassende Darstellungen. STRUVE, O.: Stellar Evolution. Princeton Univ. Press 1950. — Les Processus Nucléaires dans les Astres. V. Colloque Internat. d'Astrophysique Liège 1953. Mém. Soc. Roy. Sci. Liège (IV) **14** (1954). — *Principes Fondamentaux de Classification Stellaire.* Colloques Internationaux du CNRS; Paris 1953.

Darüber hinaus geben wir eine — notwendigerweise sehr begrenzte — Auswahl der neuesten Detailliteratur: [*1*] ALLER, L. H.: V. Colloque Int. d'Astrophysique Liège. Mém. Soc. Roy. Sci. Liège (IV) **14**, 337 (1954). — [*2*] ALPHER, R. A., u. R. C. HERMAN: Ann. Rev. Nucl. Sci. **2**, 1 (1953). Dort weitere Literatur. — [*3*] AMBARZUMIAN, W. A.: Abh. aus der Sov. Astron. Folge I. Berlin 1951. — [*4*] ARP, H. C.: Astron. J. **60**, 317 (1955). — [*5*] BAUM, W. H.: Astron. J. a) **57**, 222 (1952); b) **59**, 422 (1954). — [*6*] BIERMANN, L.: Z. Astrophysik **41**, 46 (1956). — [*7*] BLAAUW, A.: a) Bull. Astr. Inst. Netherl. **11**, 405, 414 (1952). — DELHAYE, J., u. A. BLAAUW: Bull. Astr. Inst. Netherl. **12**, 72 (1953). — BLAAUW, A., and W. W. MORGAN: Astrophysic J. **117**, 256 (1953). — [*8*] BLAAUW, A., and W. W. MORGAN: Astrophysic. J. **119**, 625 (1954), sowie BLAAUW, A.: Astrophysic. J. **123**, 408 (1956). — [*9*] CAMERON, A. G. W.: Nuclear Reactions in Stars and Nucleogenesis. Chalk River Project No. 652, 1956. — [*10*] CHAMBERLAIN, J. W., and L. H. ALLER: Astrophysic. J. **114**, 52 (1951). — [*11*] CUSANUS, NIC.: Vom Nichtanderen — De non aliud (1462). Hamburg: F. Meiner 1952. — [*12*] EPSTEIN, I., and L. MOTZ: Astrophysic. J. **117**, 311 (1953). — [*13*] FOWLER, W. A.: V. Colloque Internat. d'Astrophysique Liège. Mém. Soc. Roy. Sci. Liège (IV) **14**, 88 (1954). — [*14*] FOWLER, W. A., and J. L. GREENSTEIN: Proc. Nat. Acad. Sci. U.S.A. **42**, 173 (1956). — [*15*] FRICKE, W.: Astronom. Nachr. **277**, 241 (1949); **278**, 49 (1949). — [*16*] GREENSTEIN, J. L., and R. S. RICHARDSON: Astrophysic J. **113**, 536 (1951). [*17*] HARRISON, M. H.: Astrophysic. J. **103**, 193 (1946). — [*18*] HENYEY, L. G., R. LE LEVIER and R. D. LEVÉE: Publ. Astr. Soc. Pacific **67**, 154, 341 (1955). — [*19*] HOYLE, F., and M. SCHWARZSCHILD: Astrophysic. J. Suppl. **2**, No. 13 (1955). — [*20*] HUMASON, M. L., N. U. MAYALL and A. R. SANDAGE: Astron. J. **61**, 97 (1956). — [*21*] JOHNSON, H. L., and A. R. SANDAGE: Astrophysic. J. **121**, 616 (1955). — [*22*] JOHNSON, H. L., and C. F. KNUCKLES: Astrophysic. J. **122**, 209 (1955). — [*23*] JOY, A. H.: Astrophysic. J. **105**, 96 (1947). [*24*] KEENAN, P. C., and G. KELLER: Astrophysic. J. **117**, 241 (1953). — [*25*] MCKELLAR, A.: Publ. Domin. Astrophysic. Obs. Victoria **7**, 395 (1948). — [*26*] MERRILL, P. W.: Trans. I. A. U. **8**, 832 (1952). — [*27*] OORT, J. H.: Bull. Astr. Inst. Netherl. **12**, 177 (1954). — [*28*] OORT, J. H., and L. SPITZER: Astrophysic. J. **121**, 6 (1955). — [*29*] POPPER, D. M.: Publ. Astr. Soc. Pacific **59**, 320 (1947). — [*30*] SANDAGE, A. R.: a) Astron. J. **58**, 61 (1953). — b) V. Colloque Internat. d'Astrophysique Liège. Mém. Soc. Roy. Sci. Liège (IV) **14**, 254 (1954). — [*31*] SCHMIDT, M.: Bull. Astron. Inst. Netherl. **13**, 15 (1956). — [*32*] SCHÖNBERG, M., and S. CHANDRASEKHAR: Astrophysic. J. **96**, 161 (1942). — [*33*] SCHWARZSCHILD, M., L. SPITZER and R. WILDT: Astrophysic. J. **114**, 398 (1951). — [*34*] STRUVE, O.: Publ. Astr. Soc. Pacific **62**, 217 (1950). — [*35*] WALKER, M.: Astron. J. **59**, 333 (1954). — [*36*] WELLMANN, P.: Z. Astrophysik **36**, 194 (1955).

Institut für Theoretische Physik und Sternwarte der Universität, Kiel

Eingegangen am 25. Oktober 1956

MITTEILUNGEN DER GESELLSCHAFT DEUTSCHER NATURFORSCHER UND ÄRZTE

99. Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte e.V. in Hamburg vom 23. bis 26. September 1956

Allgemeiner Bericht

Die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte hatte auf ihrer 98. Versammlung in Freiburg beschlossen, daß die 99. Versammlung im September 1956 in Hamburg stattfinden solle. Sie folgte hiermit einer bereits länger vorliegenden Einladung der Stadt Hamburg, einer Stadt, in der bereits vier Tagungen der Gesellschaft in den Jahren 1830, 1876, 1901 und 1928 stattgefunden hatten.

Die Führung der örtlichen Geschäfte wurde durch die Herren Dr. G. Weber und Prof. Dr. Dr. J. Kimmig übernommen. Ihnen zur Seite standen mit tatkräftiger Unterstützung die Herren der Phoenix-Werke, Hamburg-Harburg, insbesondere Herr Dipl.-Kaufmann L. Mayr sowie die Herren K. Lupp und H. Fegers von der Kassenstelle unserer Gesellschaft in Wuppertal. Ihnen allen gilt für ihre arbeitsreiche und verantwortungsvolle Tätigkeit der besondere Dank der Gesellschaft.

Unter Leitung von Herrn Professor Dr. B. Helferich, Bonn, ging der 99. Versammlung am Vormittag des 23. September — analog der Essener Versammlung 1952 — eine Schultagung voraus. Zwischen einleitenden und abschließenden Worten von Herrn Professor Dr. B. Helferich, Bonn, sprach Herr Senator Professor Dr. H. Wenke die Grüße der Freien und Hansestadt Hamburg aus. Herr Dr. S. Strugger, Professor der Botanik in Münster, referierte über das Thema „Naturwissenschaften und allgemeine Bildung". Über „Allgemeine Bildung und Naturwissenschaften" berichtete Herr Dr. B. Snell, Professor der klassischen Philologie in Hamburg.

Die Vorträge der 99. Versammlung standen unter den Leitthemen „Isotope" und „Mikroskopie". Beide Themen waren gewählt worden, weil sie umfassende Überblicke in den Disziplinen der Naturwissenschaft und Medizin gestatten. Die Kurzberichte aller Vorträge konnten den Teilnehmern der 99. Versammlung — der Tradition unserer Gesellschaft entsprechend — vor Beginn der Tagung zur Verfügung gestellt werden.

Am Nachmittag des 23. September wurde die Versammlung mit dem III. Satz der Leonoren-Overtüre von L. van Beethoven unter Leitung von Herrn Kapellmeister Jamrosy eröffnet.

Im Namen des Ortsausschusses begrüßte Herr Dr. G. Weber die Anwesenden mit folgenden Worten:

Sehr verehrter Herr Bürgermeister, hoch verehrliche Festversammlung!

Einem alten Brauch unserer Gesellschaft folgend, fällt mir als Vorsitzer des Ortsausschusses zur Gestaltung des äußeren Ablaufs dieser Tagung die Aufgabe zu, die 99. Versammlung „Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte" in Hamburg 1956 zu eröffnen und die ersten Worte an Sie zu richten. Mit diesen rufe ich Ihnen allen eine sehr herzliche Begrüßung zu.

Das ernste Streben um Naturwissenschaft und Forschung ist das Anliegen unserer Gesellschaft auch in dieser Tagung. Aber die Abgeschlossenheit der Vortragsveranstaltungen sprengend, liefert das Leben selber seinen Beitrag zum Gelingen einer solchen Zusammenkunft. Besprechungen von Mensch zu Mensch bereichern, persönliche Begegnungen vertiefen die Eindrücke, und zum Ablauf des Ganzen gehört die Atmosphäre der Umgebung, die Atmosphäre unserer Stadt, die diese Tagung beherbergt. Wir hoffen, daß der welt-geöffnete Rhythmus dieser großen Hafenstadt, weitläufig in ihren Bauten, herrlich in ihrer Lage am Wasser, unseren Gästen aus nah und fern Anregung und Freude bringt.

Und allen lieben Freunden, die zu uns gekommen sind, gilt unser herzlicher Dank und unser Gruß.

An erster Stelle danken wir dem Präsidenten des Senats unserer Stadt, Herrn Bürgermeister Dr. Sieveking, und zwar nicht nur für die praktische Anteilnahme des Senats an unserer Tagung, sondern auch für Ihre freundliche Bereitschaft, Herr Dr. Sieveking, in dieser Eröffnungsfeier zu uns zu sprechen.

Es ist für uns eine besondere Ehre und Freude, daß auch der Herr Kultusminister von Nordrhein-Westfalen, Herr Professor Dr. Luchtenberg, zu uns gekommen ist, besonders in seiner Eigenschaft als Vertreter der ständigen Konferenz der Kultusminister. Wir begrüßen Herrn Professor Dr. Luchtenberg warm in unserer Mitte.

Wir begrüßen ebenso herzlich die Herren Senatoren und Vertreter der Städtischen Zentralbehörden. Wir begrüßen warm die Vertreter der wissenschaftlichen Institute, Fachverbände und Universitäten. Sie sind zu unserer Freude in einer so stattlichen Zahl erschienen, daß ich nicht alle diese hochgeschätzten Gäste, sondern nur einige wenige von ihnen mit Namen begrüßen kann.

Einen ehrfurchtsvollen Gruß dem Präsidenten der Max-Planck-Gesellschaft, Herrn Professor Dr. Hahn.

Ich begrüße besonders den Präsidenten der Deutschen Forschungsgemeinschaft, Herrn Professor Dr. Hess, und den Präsidenten der Wissenschaftlichen Akademie Heidelberg, Herrn Professor Dr. Kienle.

Dann ist es mir eine besondere Freude und ein Bedürfnis, die Präsidenten *der* Gesellschaften zu begrüßen, die zusammen mit unserer Tagung Deutscher Naturforscher und Ärzte in Hamburg ihre Jahresversammlung durchführen, so durch eine gemeinsame Organisation die Zusammengehörigkeit und das Zusammenspiel der verschiedenen Disziplinen bekundend:

Ich begrüße Herrn Professor Dr. Helferich als Präsidenten der Gesellschaft Deutscher Chemiker, Herrn Professor Dr. Strugger, in seiner Eigenschaft als erster Vorsitzer des Verbandes Deutscher Biologen, und Herrn Professor Dr. Felix, als ersten Vorsitzer der Deutschen Gesellschaft der Physiologischen Chemie. Schließlich gilt mein Gruß den Herren unserer Hamburger Universität, mit der uns natürlichste und innerlichste Fäden verbinden. Ein herzliches Willkommen Herrn Professor Dr. Snell, als Vertreter Seiner Magnifizenz des Herrn Rektors der Universität Hamburg, Herrn Professor Dr. Raethjen, als Dekan der Naturwissenschaftlichen Fakultät, und Herrn Professor Dr. Schubert, dem Dekan der Medizinischen Fakultät. Allen Ihnen, meine Herren, unsern Dank, daß Sie gekommen sind und zum Teil auch zu uns sprechen werden.

Eine besondere Freude ist es für unsere Gesellschaft, eine große Reihe Besucher aus dem Ausland hier zu sehen. Wir wollen nicht müde werden, Ihnen, meine lieben Auslandsgäste, die Tage hier sehr angenehm zu machen. Ganz besonders herzliche Worte der Begrüßung richte ich schließlich an unsere deutschen Brüder und Schwestern aus den Landesteilen im Osten unseres Vaterlandes. Kirche und Wissenschaft machen nicht vor Landesgrenzen halt, vor allem dann nicht, wenn eine willkürliche geographische Grenze *ein* Volk in zwei Teile teilt. Gerade diesen Besuchern aus dem Osten wünschen wir Gelegenheit zu wirklichen, von innen ausgefüllten Gesprächen mit Menschen der Bundesrepublik, damit echte Brücken und richtige geistige Maßstäbe aufwachsen. Sie sollen auch eine Art von Schockwirkung abbauen, die etwa durch die gefüllten Schaufenster und die Vielzahl der hell strahlenden Automobile bei unseren Ortsfremden entstehen könnten.

Unser diesjähriges Tagungsprogramm, das Sie alle in Händen haben, erinnert daran, daß Hamburg in diesem

Jahr bereits zum fünften Mal die „Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte" in ihren Mauern zur Versammlung beherbergt. Im Jahre 1830 — 8 Jahre nach der Gründung der Gesellschaft — war Hamburg das erste Mal das Ziel der Naturforscher und Ärzte für ihre Zusammenkunft gewesen.

Es ist überaus reizvoll, die Berichte über diese Tagungen in den Jahren 1830, 1876, 1901 und 1928 zu lesen und die Schilderung ihres Ablaufs zu studieren. Das Wachsen und Verästeln der Wissenschaft, ihr Umschwenken zu neuen Zielsetzungen kann hier in großen Zeiträumen abgelesen werden. Darüber hinaus sind die Originalberichte in ihrer liebevollen Detail-Schilderung und sachlichen Prägnanz eine Fundgrube zum Studium von Kultur und Zivilisation und historisch-politischer Entwicklung schlechthin. Leider verbietet Stunde und Anlaß meiner Worte an Sie, hierauf näher einzugehen.

Und doch glaube ich, um die charakteristische geistige Situation Hamburgs und der Hamburger herausarbeiten zu können, *ein* markantes Datum hier nennen zu müssen, das uns fast 800 Jahre zurückversetzt.

Im Jahre 1183 erwirkte Graf Adolf III. von Schauenburg von Friedrich Barbarossa einen Freibrief, durch welchen es Hamburg verbrieft und vergönnt wurde, „mit Schiffen und Waren und Leuten vom Meer bis an die Stadt und zurück frei von allem Zoll und aller Ungeldforderung verkehren zu dürfen".

Dies geschah, nachdem Hamburg schon fast 200 Jahre urkundlich bekannt war und sich zu einem wohlhabenden Flecken entwickelt hatte.

Dieser Freibrief war die Wurzel für die Entwicklung von Hamburg zum größten Hafen Deutschlands. Denn die Hamburger machten aus dieser Gunsterweisung Friedrich Barbarossas mehr, als nur das Privileg der Zollfreiheit auszunutzen. Sie begriffen, daß für sie und ihre Geschäfte die Lage an der Elbe mit dem Zugang zu den großen Ozeanen ihre große Chance war. Für sie und die Generationenfolge ihrer Nachkommen wurde die Bezähmung, der Ausbau und die Dienstbarmachung der Elbe *die* große Aufgabe, der Sinn aller gesamt-gemeindlichen Zielsetzungen in dieser Stadt über Jahrhunderte.

Wie sehr die Elbe als zentrale Gegebenheit des Hamburger Lebens auch wirklich gewußt empfunden wurde, beweist der Ausspruch des Hamburger Handelsherrn Salomon Heine — eines Onkels von Heinrich Heine — nach dem großen Brand von 1842. Mehr als ein Viertel der Stadt, ihr historischer Kern, war vernichtet. Der Schaden betrug weit über 100 Mill. Mark. Als Salomon Heine die Nachricht von der großen Katastrophe erhielt, stellte er die Frage: „Nun, ist die Elbe mit abgebrannt?" Als er die Antwort „Nein" erhielt, rief er voll Ernsthaftigkeit aus „Na, dann ist's ja nicht so schlimm, wenn wir nur die Elbe haben".

Nur am Rande sei vermerkt, daß Heine nicht nur Optimismus bekundete, sondern zusammen mit dem Senator Kirchenpauer Entscheidendes leistete, um trotz der enormen Schäden das Hamburger Handelsleben voll aufrechtzuerhalten.

Doch zurück zum Freibrief Barbarossas. Jahrhundertelang bemühten sich die Hamburger, Schritt für Schritt, ihren Hafen auszubauen, errichteten ihre Leuchtfeuer auf Helgoland, schlossen den Bund der Hanse und wehrten sich mit Zähigkeit und Mut gegen jedermann, der ihnen ihre Freiheit nehmen wollte. Nach langen harten Kämpfen mit den Dänen-Königen und manchen Winkelzügen Hamburgs dem Reich gegenüber brachte das 17. Jahrhundert die Entscheidung, daß Hamburg zunächst zur reichsunmittelbaren und dann zur Freien und Hansestadt Deutschlands erklärt wurde. In diesen langen Zeiträumen des Kämpfens um ihre Privilegien und um ihre Freiheit — übrigens bis in Bismarcks Zeit hinein — entwickelten die Hamburger ein aristokratisches Bürgertum auf der Grundlage einer ausgesprochen republikanischen Gesinnung. Andererseits pflegten sie — mit Wagemut und Rechenstift — den Verkehr über den Ozean in die weite Welt, kamen zu einer ständigen Berührung mit der Fremde und lernten Verständnis für andere. Aus einem intuitiven, unmittelbaren Gefühl für die Notwendigkeit eines friedlichen und nützlichen Zusammenlebens erwuchs echte Toleranz. So wurde wahre Demokratie die Lebensform von Hamburg, so wurden Freiheit und Toleranz eine spürbare Note des Klimas dieser großen Hafenstadt, und zwar für *alle* Schichten der Bevölkerung.

Nehmen wir dies als ein gutes Omen für unsere diesjährige Tagung der „Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte" in unserer Stadt. Denn Freiheit und Toleranz sind auch die Motoren der Wissenschaft, sie sind unverrückbare Pfeiler ihres Gebäudes, ohne die Forschen und Messen ihre innere Glaubwürdigkeit verlieren.

Läßt man die Tagungen unserer Gesellschaft in Hamburg von 1830 bis heute an sich vorübergleiten, erhält man einen unmittelbaren Eindruck von der Entwicklung der Wissenschaft als Ganzes. Betrachten wir die Tagungen des vorigen Jahrhunderts, so blicken wir in eine Epoche der Wissenschaft, in der vor allen Dingen und fast ausschließlich, die Arbeit an einzelnen Gegenständen und Objekten zu leisten war, und zwar auf jedem der vielen Gebiete der Naturforschung und der Medizin. Es war die Zeit des Sammelns, um innerhalb der einzelnen Disziplinen den Aufbau der Wissenschaft ermöglichen zu können. Die Zeit der Synthese, der verbindenden Theorien war noch nicht gekommen. Und dann kam diese Zeit und es wurden Theorien aufgestellt, bis sich neue Entwicklungen durchsetzten, die z.B. das Gebäude der Chemie von Grund auf umgestalteten. Dann wurde das ehrwürdige alte Gebäude der Physik gesprengt, und neue, modernste Anschauungen kamen ans Licht. Und dieser atemberaubende Fortschritt der Naturwissenschaften im großen war begleitet von einer ungeheueren Ausweitung der Naturwissenschaften an sich. Immer neue Verästelungen wurden gefunden, immer neue Zweige wurden eigene Disziplinen, und der Einzelne, der an diesen Dingen arbeitete, wurde immer mehr auf Spezialgleise abgelenkt — wenn auch nicht gleich an den „spezialisierten Laboratoriumsknecht" gedacht zu werden braucht, den heute morgen Herr Professor Dr. STRUGGER in der Schultagung so temperamentvoll prägte. Jedenfalls: Wissenschaft im universalen Sinne der Erkenntnis trat und tritt zurück gegenüber dem Fachwissenschaftler.

Es ist fraglos ein Problem riesenhaften Ausmaßes, die vielen und täglich neuen Ergebnisse der naturwissenschaftlichen Forschung mit der Wissenschaft im Sinne eines allgemeinen Durchdringens des Seins in Einklang zu bringen und zu halten. Aber mit dieser Feststellung, die eine gigantische Aufgabe bedeutet, ist ein Spezifikum noch nicht erwähnt, das für unser Jahrhundert und besonders für die letzten Jahrzehnte gilt, das ist die Tatsache, daß die Wissenschaft heute in einem ungeahnten Maß der Vorläufer und Bahnbrecher für eine Vielzahl von hoch entwickelten Techniken geworden ist. Das allgemeine Dasein im heutigen Stil nicht weniger als das Leben jedes einzelnen Verbrauchers ist angeregt, bereichert, ja erst ermöglicht durch eine Vielzahl von Produktionsgütern einer hoch entwickelten Technik. „Technik des Technikers" nannte sie ein Denker wie ORTEGA Y GASSET.

Man sollte annehmen, daß dieser grundlegend wichtige innere Zusammenhang zwischen Wissenschaft und Technik auch allgemein verstanden und anerkannt würde. Aber just das Gegenteil ist der Fall. Kein Bürger verspürt auch nur das geringste anerkennende Verwundern, daß er mit Betätigung eines Bedienungsknopfes seinen Fernsehapparat einschalten kann. Ein Flug in 11 Std von Hamburg nach New York wird nicht anders gewertet wie eine Fahrt von Hamburg nach Bergedorf. Und der etwas phantastische Plan über ein Ansteuern des Mondes noch in diesem Jahrhundert, wird zwar noch etwas skeptisch betrachtet, aber meistens nicht aus einer Scheu oder Ehrfurcht vor den geistigen Leistungen, die einen solchen Plan verwirklichen lassen. Es scheint, als sei gegenüber den riesigen Fortschritten von Wissenschaft und Technik in den letzten Jahrzehnten die moralisch-seelische Verarbeitungskapazität des Menschen zurückgeblieben. Darum dürfen wir nicht müde werden, hier Verständnis zu säen bei Jung und Alt und in *allen* Schichten der Bevölkerung, die ja heute an allen Produkten der Technik teilhat.

Vor allem den Gewerbetreibenden und den Industriellen muß zum Bewußtsein gebracht werden, daß ohne Wissenschaft die Technik eines Tages erlahmen muß; aber sie *darf* nicht erlahmen. Denn würden wir unsere Technik erschlaffen lassen, so würde das bedeuten, daß wir unser Leben im heutigen Stil nicht mehr fortführen könnten, daß ein hoher Prozentsatz der derzeitigen Bevölkerung der Erde nicht existieren könnte.

Alles in allem ein Grund mehr, der Tagung der „Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte" in Hamburg eine Bedeutung auch in den Augen der Öffentlichkeit zu geben, und wenn es nur darum ginge, das deutsche Volk in mitten einer Welt hoch entwickelter Produkte der Technik *wissenschaftsbewußt* zu machen, d. h. das deutsche Volk zu lehren, Wissenschaft und Wissenschaftler nicht *neben*, sondern *im* Leben stehend zu betrachten und finanziell gesund zu fundieren.

Als Mann der Wirtschaft — ich bin für eine große Produktion verantwortlich, an der einige tausend Menschen arbeiten — spüre ich immer wieder die innere Verbundenheit zu denen, die forschen, und zu denen, die sich um das seelische und körperliche Wohl unserer Menschen kümmern. Naturforscher und Ärzte! Der Technik dienen, Güter erzeugen, aber darüber hinaus den Menschen nicht vergessen, ihm im Gegenteil *helfen*, mit allen seinen Fähigkeiten *Mensch zu sein*, das ist die große Aufgabe unserer Zeit. Und sie ist nicht lösbar, wenn wir uns nicht eine Ehrfurcht bewahren vor der Vielgestaltigkeit der Schöpfung und vor dem, was menschlicher Geist der Natur abgelauscht hat. So gehört auch die Wissenschaft mitten hinein in unser Leben. Ich bin durchdrungen von der Überzeugung, daß unsere wissenschaftliche Arbeit nie aufhören wird und darf.

Daher wünsche ich auch für die heute beginnende Tagung der „Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte" den besten Erfolg und erkläre die 99. Versammlung als eröffnet.

Im Namen der Freien und Hansestadt Hamburg begrüßte der Präsident des Senates, der erste Bürgermeister Herr Dr. K. Sieveking:

Meine Damen und Herren! Wir stehen in Hamburg in einer sehr alten und ungebrochenen Staatstradition. Daher habe ich mich auch dafür interessiert, was meine Vorgänger auf früheren Tagungen Ihrer Gesellschaft gesagt haben. Und da finde ich, daß mein Vorgänger Dr. Bartels, einer der großen Bürgermeister unserer Stadt im 19. Jahrhundert, Ihrer Gesellschaft in seiner Begrüßungsrede des Jahres 1830 die Worte zugerufen hat: „Mögen Sie von einem ergrauten und erfahrenen Manne die Prophezeiung hinnehmen, daß diese Versammlung — den Interessen der Wissenschaft, des Lebens, der Humanität gewidmet — noch eine welthistorische Bedeutung gewinnen wird."

Ein prophetisches Wort! In der Tat hat Ihre Gesellschaft sich im Laufe eines Jahrhunderts nicht nur behauptet, sondern sie hat sich auch immer umfassender entwickelt. Das aber hat sie getan, weil sie um das Gesetz aller echten Entwicklung wußte, die ja darin besteht, aus einer starken Tradition lebend sich immer von neuem in jeder Generation den Forderungen der eigenen Zeit zu stellen, um auf solche Weise dann selbst Geschichte zu machen und Tradition zu bilden. Ihre Gesellschaft ist eben darum heute so lebensvoll wie je zuvor, weil sie dem Geist unseres Jahrhunderts folgend ihre Bereiche geweitet hat, so geweitet, daß alles, was hier in den nächsten Tagen behandelt wird, sich nicht mehr auf die Interessen einer Gruppe oder eines Volkes beschränkt, sondern wirklich die ganze Welt angeht. Denn auch der Laie, der nicht in die Geheimnisse der Spezialthemen eindringen kann, erkennt, daß — in stärkerem Maße als bei früheren Tagungen — dieses Mal die Referenten aus Deutschland sich mit ihren Fachkollegen vieler anderer Nationen zur gemeinsamen Bemühung um den Fortgang und die Sicherung der wissenschaftlichen Erkenntnisse zusammenfinden.

Natürlich ist der Gedanke uralt, daß alle wissenschaftliche Erkenntnis nicht an die Grenzen eines Landes gebunden sein kann, sondern in ihrer Geltung und auch in ihrer Wirkung und Anwendung solche Begrenzung weit hinter sich läßt. Aber so geläufig uns auch diese Einsichten sein mögen, die praktischen Folgerungen daraus konnten bisher nur unzureichend gezogen werden. Keineswegs konnte die Wissenschaft ihre völkerverbindende Kraft voll entfalten, solange wir uns — seit 1914 — in einer Periode unaufhörlicher Auseinandersetzungen und Zersplitterungen des internationalen politischen Lebens befanden. Schlimme Erfahrungen haben jetzt überall die Erkenntnis und den Willen gestärkt, diese unglückliche Zeit durch Ausgleich und durch Festigung zwischenstaatlicher Beziehungen zu beenden und einen neuen Stil im Leben und Umgang der Völker zu finden. Wir kennen alle die Hemmungen und Schwierigkeiten, die noch zu überwinden sind, und daher wird man es leicht verstehen, daß wir die Hilfe aller anrufen, die ihrem Wesen nach befähigt sind, die Welt auf diesem Wege voranzubringen. Daher richtet sich unsere Hoffnung nicht nur auf eine weltoffene und bewegliche Außenpolitik und eine völkerumspannende Wirtschaft, sondern in allererster Linie auf die alles verbindende geistige Macht der Wissenschaft.

Jeder Naturforscher und jeder Arzt weiß aber, welchen Einfluß die Arbeit und die Erkenntnisse seiner Disziplin auf die Gestaltung des politischen und sozialen Lebens der Gegenwart ausüben können. Er wird daher nicht überrascht sein und es nicht als eine Zumutung empfinden, wenn die Politik an die Wissenschaft appelliert und von ihr tätige Hilfe in der Bemühung um die Festigung neuer Ordnungen erwartet — ganz gewiß nicht in dem Sinne, daß nun die wissenschaftliche Arbeit politisiert werden sollte, wohl aber in dem Wunsche, daß die in den stillen und gesicherten Bezirken der Forschung gefundenen Erkenntnisse ihren Niederschlag auch in der Gestaltung unserer politischen und sozialen Welt finden. Eigentliche Politik allerdings, meine Damen und Herren — diese Feststellung bitte ich mir zu erlauben — hat den Reiz, daß sie nicht den Gesetzen der exakten Naturwissenschaft folgt. In ihr bleibt immer noch ein Element des Spieles und des Irrationalen, und es würde wohl auch langweilig in der Welt werden, wenn es anders wäre.

Mit Recht werden Sie mir jetzt die Frage stellen, ob die politischen Instanzen, die Regierungen und die Parlamente, ihrerseits alles tun, um die Wissenschaft so zu fördern, damit sie die hier ausgesprochenen Hoffnungen auch erfüllen kann. Ich will dieser Frage nicht ausweichen, ich will sie mit einigen grundsätzlichen Überlegungen beantworten. Ich bitte jedoch um Ihr Verständnis — vor allem um das Verständnis der ausländischen Gäste — wenn ich sie vom Standort Deutschlands aus beantworte. Denn diese Antwort kann nicht generell erteilt werden, sie ergibt sich vielmehr aus den sehr unterschiedlichen staatlichen und gesellschaftlichen Lebensbedingungen, unter denen die Völker heute leben: Die Spaltung Deutschlands und der föderative Aufbau der Bundesrepublik sind die beiden Hauptthemen in der gegenwärtigen Erörterung aller Fragen, die sich auf die Pflege und Förderung der Wissenschaft beziehen. Das gemeinsame Schicksal des gespaltenen Deutschlands ist der Zusammenbruch des Jahres 1945. Es ist nicht verwunderlich, daß die wissenschaftliche Forschung — schon geschädigt durch ein totalitäres politisches System und die Auswirkungen des zweiten Weltkrieges — in diesem Zusammenbruch vollends hineingerissen wurde. In den Jahren nach 1945 geschah in den vier Besatzungszonen das Notwendigste, um das Leben des Volkes zu fristen und neue Grundlagen seiner Existenz aufzubauen. Unter solchen Bedingungen, zu denen Demontage und scharf beschränkende Bestimmungen der Besatzungsmächte kamen, konnte die Forschungsarbeit nicht gedeihen. Die wirtschaftlichen Beziehungen zwischen Ost und West kamen zum Erliegen und sind — verglichen mit den ausländischen Handelsgeschäften — über zaghafte Ansätze nicht hinausgekommen. Ich brauche weitere Einzelheiten nicht aufzuzählen, um auf dem Hintergrund dieser Vorgänge deutlich zu machen, welche weittragende Bedeutung es für die Gegenwart und die Zukunft hat, daß die Wissenschaft, vornehmlich die Naturwissenschaft und die Medizin, die Kontakte aufrechterhalten und sorgsam gepflegt hat. Sie hat sich damit nicht nur ein nationales, sondern — nach Lage der Dinge — offenbar ein weltpolitisches Verdienst erworben.

Daß es sich hier nicht um Deklarationen und bloße Wünsche, sondern um erfreuliche Tatsachen handelt, zeigt diese festliche Versammlung und das Programm ihrer Tagung, auf der sich die Gelehrten aus Ost und West zu gemeinsamer Arbeit zusammenfinden. So erfüllt die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte erneut eine große politische Aufgabe, die ihr seit den Anfängen vertraut ist. Vor vier Jahren hat auf der Tagung in Essen der damalige erste Vorsitzende Adolf Butenandt im geschichtlichen Rückblick seiner Festrede die Erinnerung an diese ehrwürdige Überlieferung wachgerufen: Er berichtete, daß Goethe 1828 von den Verhandlungen der Gesellschaft gesagt habe, „sie ersetzen

uns Deutschen den Mangel einer Hauptstadt"; er berichtete weiterhin, daß LORENZ OKEN, der Begründer der Gesellschaft, sie im Jahre 1847 als „das geistige Symbol der Einheit des deutschen Volkes" bezeichnete und daß ALEXANDER VON HUMBOLDT 1859 die Versammlung das „schwache Lichtbild der mythischen Einheit des deutschen Volkes" nannte. Es ist kein erfreuliches Zeichen unserer Lage, daß wir Anlaß haben, auch heute diese Worte zu wiederholen und mit ihnen die Naturforscher und Ärzte zu beschwören, ihren Dienst an der Bewahrung der geistigen Einheit des Volkes weiterhin wahrzunehmen. Mit dem aufrichtigen Dank für die Erfüllung dieses Auftrages, verbinden wir alle die feste Hoffnung auf die Stunde der Wiederherstellung unserer politischen Einheit. In dieser Stunde werden wir unseren Dank erneuern für das, was die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte in schweren Jahren für die Rettung der Einheit getan hat.

In den Jahren, in denen Deutschland in vier Besatzungszonen aufgeteilt war, bestand in Westdeutschland kein einheitlicher Staatsverband; und es waren allein die Länder, denen die schwere Aufgabe zufiel, nach dem Zusammenbruch das Leben des Volkes zu erhalten. Das Grundgesetz beschritt den Weg zur Vereinigung der Länder im Bund, brachte aber zugleich die Entscheidung, daß die Schulen und Universitäten auch weiterhin in der Obhut der Länder blieben, wie es seit der Gründung des Reiches bis 1933 gewesen war. Es wies aber auch dem Bund die Pflege der Forschung zu, in der Erkenntnis, daß hier eine Reihe von überregionalen Aufgaben zu bewältigen sind. Die Länder haben seither für den äußeren und inneren Wiederaufbau des Schul- und Bildungswesens und für die Entfaltung der Universitäten und Hochschulen und die mit ihnen verbundenen Forschungsstätten große Opfer gebracht. Daß nach den schweren Verlusten an schöpferischen Persönlichkeiten und nach den Kriegszerstörungen noch längst nicht genug getan ist, weiß jeder, der in der Kulturpolitik verantwortlich tätig ist. Er weiß auch, daß die Beseitigung der Schäden und die Herstellung des status quo nicht ausreichen kann. Wir stehen unter der besonderen Belastung, daß ein Wiederaufbau auf allen Gebieten notwendig ist, von denen die kulturellen Einrichtungen nur einen Teil bilden, und daß in der gleichen Zeitspanne die Länder, die von den Kriegszerstörungen verschont blieben oder die ihre Wiederaufbaupläne einseitiger konstruieren und der Pflege der Wissenschaft unter schonungsloser Zurückstellung anderer Lebensgebiete den Vorrang geben, die Forschungseinrichtungen so weit vorantreiben, daß wir besorgt sein müssen, den Anschluß zu finden.

Man kann also den jetzt erreichten Stand der Forschung und ihrer Einrichtungen entweder im Blick auf das noch vor uns liegende Ziel oder im Blick auf das bis jetzt Erreichte und in Erinnerung an den Zustand des Jahres 1945 beurteilen. Ich meine, daß man zu einer praktisch sinnvollen Einstellung nur kommt, wenn man beide Blickrichtungen miteinander verbindet. Der Blick auf die noch nicht erreichten Ziele beflügelt unsere planende Phantasie und stärkt die Energie unserer Bemühungen, der Blick auf das schon Erreichte — nicht nur in der Wissenschaft, sondern auch auf allen anderen Gebieten — verführt uns gewiß nicht zur Selbstzufriedenheit, läßt uns aber gerechter urteilen, und ein Wort der Anerkennung hat zudem die gute Wirkung, daß es die Arbeitsfreude derer stärkt, die täglich sich um den Fortgang in Wissenschaft und Kultur mühen. Es ist jedenfalls wirkungsvoller, als wenn ihnen nach jedem Schritt, den sie vollbracht haben, vorgehalten wird, was sie noch nicht erreicht haben — als ob sie das selbst nicht sehr genau wüßten. Aber es gibt auch andere erfreuliche Beispiele einer gerechten Beurteilung. So habe ich es als Haupt einer deutschen Landesregierung mit besonderer Genugtuung aufgenommen, daß vor einigen Monaten der Senat der Max-Planck-Gesellschaft in einer Petition an den Bundestag, in der er — durchaus berechtigt — die Notwendigkeit einer Hilfe aus Bundesmitteln begründete, zunächst einmal klar die Zuwendungen der Länder auf der Grundlage des Königsteiner Abkommens anerkannte, die in der Tat den Bestand der Max-Planck-Gesellschaft und ihrer Institute gesichert haben.

Das Grundgesetz hat sich aus einer ganzen Reihe von wohlerwogenen und sehr verschiedenartigen Gründen für den föderativen Aufbau der Bundesrepublik entschieden. Sinn und Zweckmäßigkeit dieser Entscheidung kann also nicht allein danach gemessen werden, ob gerade die Forschung bei den Ländern oder beim Bund in besserer Obhut stünde. Zudem hat das Grundgesetz hier einen Weg zum Ausgleich zwischen Bund und Ländern gewiesen. Unsere Aufgabe ist es, diesen Ausgleich für die überregionalen Aufgaben der Forschung zu finden. Wie notwendig das ist, zeigt sich mit dem zunehmenden Aufschwung der Arbeit gerade in den Bereichen, deren sich die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte annimmt. In vernünftiger Zusammenarbeit von Bund und Ländern muß der Weg beschritten werden. Dazu gehört, daß die Pflege der Forschung nicht durch unnötige Kompetenzstreitigkeiten erschwert oder verzögert wird. Auch eine zentrale Bundesverwaltung würde das feingliedrige Werk der Wissenschaft nicht in Gang halten können ohne die Hilfe von Außenstellen, die überall in den Ländern zu gründen wären und dort die praktische Arbeit im Konnex mit den örtlich gebundenen Instituten zu leisten hätten. Warum soll man neue Stellen gründen, da man die Behörden der Länder zur Verfügung hat, die über die eingearbeiteten Kräfte und die Erfahrungen und die Verbindung mit den einzelnen Forschern bereits verfügen? Warum soll man die Zeit vergeuden mit hitzigen politischen Erörterungen über die Änderung des Grundgesetzes, statt daß man hier und jetzt anfängt, das zu tun, was die Stunde fordert?

Insbesondere die Atomforschung stellt uns hier vor dringende Aufgaben. Ich denke an den von der Bundesregierung beschlossenen Entwurf eines „Gesetzes über die Erzeugung und Nutzung der Kernenergie und den Schutz gegen ihre Gefahren". In meiner Eigenschaft als Präsident des Bundesrates gebe ich Ihnen die Versicherung, daß ich alles tun werde, um die Beratung und Verabschiedung dieses Gesetzes von allen unnötigen Kompetenzstreitigkeiten freizuhalten und um im Zusammenwirken von Bund und Ländern den Weg zu finden, auf dem die Sache, um die es geht, am besten und am schnellsten gefördert werden kann. Wenn das gelingt, haben wir einen Modellfall für die zukünftige Arbeit geschaffen. Ich darf die Gelegenheit benutzen, die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte zu bitten, auf ihre Weise diese Gesinnung der Kooperation vorzubereiten und zu pflegen. Sie hat den Blick für das Ganze und die Kraft zur Synthese in ihrer traditionsreichen Geschichte so oft bewiesen, daß wir sicher sein dürfen, Verständnis und tatkräftige Hilfe in der Bewältigung der größeren Aufgaben zu finden, die unsere Zeit stellt.

Zu diesem Appell ermutigt mich nicht nur der Blick auf die Vergangenheit der Gesellschaft, sondern auch mein Eindruck von der Anlage der Tagung, die heute beginnt. Im Vorbericht heißt es: „In den Vorträgen der 99. Versammlung sind die beiden Hauptgesichtspunkte ‚Isotopie' und ‚Mikroskopie' herausgestellt worden, weil beide Themen es erlauben, die Ergebnisse der physikalischen Forschung über große Gebiete der Naturwissenschaften und der Medizin zu verfolgen." Das offenbart den Willen, inmitten der notwendigen Spezialisierung der modernen Wissenschaft den Blick für die großen übergreifenden Zusammenhänge zu wahren. In diesem Bemühen ist die Gesellschaft weit über den engeren Bereich der Forschungsarbeit hinausgedrungen, z.B. in den Bereich der Bildungs- und Erziehungsarbeit. So sehe ich es als bedeutungsvoll an, daß die Gesellschaft ihre Schulkommission, die um die Jahrhundertwende der Reform des mathematischen und naturwissenschaftlichen Unterrichts stärkste Impulse gab, wieder ins Leben gerufen hat, die heute vormittag zusammen mit der Arbeitsgemeinschaft „Höhere Schule" ihre Tagung abgehalten und die Beratung unter die Idee des Brückenschlags zwischen Natur- und Geisteswissenschaften gestellt hat — eine Idee, die gewiß nicht zufällig auch im Thema des Festvortrages Ihres Vorsitzenden und — wie ich mit Stolz hinzufüge — unseres Hamburger Professors HECKMANN über „Die Astronomie in der Geistesgeschichte der Neuzeit" ihren Ausdruck findet.

Ein Brückenschlag? Ist das wirklich ein ganz treffender Vergleich? Handelt es sich letzten Endes um so getrennte Bereiche, daß nur eine Brücke die Verbindung zwischen ihnen herstellen kann? Weiß nicht z.B. der Arzt, wenn er alle Erkenntnisse moderner Naturwissenschaft in den Dienst seines Berufes stellt, daß letzten Endes doch ein Unwägbares, nämlich die Lebenskraft

und der Lebenswille seines Patienten den Ausschlag bei jeder Heilung gibt? Strebt nicht gerade der moderne Forscher, der die Möglichkeit der Spaltung des Atoms entdeckte, heute wie einst Faust danach, daß er erkenne, was die Welt im Innersten zusammenhält? Bei RILKE heißt es einmal: Lebende machen alle den Fehler, daß sie zuviel unterscheiden. Ich glaube, ich sollte diese meine Worte an die Tagung der Deutschen Naturforscher und Ärzte nicht schließen, ohne in aller Ehrfurcht vor der Schöpfung zu sagen, daß „polla ta deina" des SOPHOKLES auch noch auf den Menschen unserer Tage zutrifft und daß die menschliche Persönlichkeit, in der Natur und Geist sich verbinden, auch in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts das Entscheidende bleibt.

In Vertretung Se. Magnifizenz, des Herrn Rektors der Universität Hamburg, sprach Herr Professor Dr. B. SNELL:

Herr Bürgermeister, Herr Senator! Der Rektor der Universität Hamburg, Magnifizenz KOLB, hat mich gebeten, in seinem Namen Ihre Versammlung herzlichst willkommen zu heißen.

Ich habe Herrn KOLB gesagt, es täte mir außerordentlich leid, daß er selber nicht hier sein könnte, denn da wir nun einmal einen Rektor haben, der der Naturwissenschaftlichen Fakultät angehört, wäre es besonders schön gewesen, wenn er heute hier hätte sprechen können. Er meinte, die Begrüßungsworte würden desto überzeugender klingen, wenn sie jemand spräche, der nicht vom Fach wäre. So gestatten Sie denn dem Altphilologen, zu erklären, daß er Sie im Namen der Universität ganz besonders herzlich begrüßt.

Namens der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Hamburg sprach der Dekan, Herr Professor Dr. P. RAETHGEN:

Herr Vorsitzender, Herr Bürgermeister, meine sehr verehrten Damen und Herren! Namens der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Hamburg begrüße ich Sie aufs herzlichste. Es ist unserer Fakultät eine besondere Freude, daß eine so bedeutende Tagung unmittelbar unter ihren Augen stattfindet. Zwei unserer Fakultätskollegen stehen in dieser Tagung an prominenter Stelle: Herr Professor Dr. HECKMANN als 1. Vorsitzender Ihrer Gesellschaft und Herr Professor Dr. ALBERT DEFANT als Redner der feierlichen Schlußsitzung. Herr DEFANT wird am Mittwoch unsere Blicke abschließend aufs Meer richten, wie es in Hamburg nicht anders sein kann. Vielleicht ist es nicht nur ein Zufall, daß ebenfalls in Hamburg und an demselben Tage Geophysiker und Meteorologen unter sich über das Thema „Ozean und Atmosphäre" diskutieren werden. Wir nehmen auch dies als gutes Omen für unseren neuen Hamburger Lehrstuhl für Meereskunde, der endlich nach langjährigen Bemühungen wieder errichtet worden ist.

Jedenfalls glaube ich, kommt es auf dieser Tagung zum Ausdruck, daß die Anwendungen der Naturwissenschaften auf Gebiete von unmittelbar lebenswichtiger Bedeutung nebenher wirksam sind gegen die fortschreitende Zersplitterung der Wissenschaften. Zwar begünstigen diese Anwendungen die spezialisierte Forschung, aber sie führen auch die getrennt forschenden Spezialisten zusammen zur gemeinsamen Bewältigung lebenswichtiger Aufgaben. Vielleicht ist dies der neue Weg zur „universitas literarum", vielleicht auch ein besserer Weg als alle vergeblichen Versuche, an den Universitäten den modernen „Polyhistor" durch ein obligatorisches „studium generale" zu formen. Aber wahrscheinlich sage ich Ihnen, meine Damen und Herren, damit gar nichts Neues. Denn die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte beschäftigt sich schon lange mit dem Problem der universitas literarum, und überhaupt sind unsere Medizinerkollegen auf diesem Wege um eine Pferdelänge voraus.

Meine sehr verehrten Damen und Herren! Die Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Universität Hamburg wünscht Ihnen zu dieser Tagung „zwischen Sternen und Ozeanen" einen vollen Erfolg.

Der Dekan der Medizinischen Fakultät in Hamburg, Herr Professor Dr. G. SCHUBERT sprach anschließend:

Herr Bürgermeister, Herr Senator, meine sehr verehrten Damen und Herren, liebe Kolleginnen und Kollegen! Als derzeitiger Dekan der Medizinischen Fakultät unserer Universität habe ich die ehrenvolle Aufgabe, alle Mitglieder und Freunde der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte, die hier zur Eröffnung der 99. Versammlung erschienen sind, aufs herzlichste begrüßen zu dürfen und willkommen zu heißen.

Ein Zufall will es, daß diese schöne Aufgabe einem Kliniker zuteil wird, dessen ganze Liebe den Forschungen auf den Grenzgebieten zwischen Naturwissenschaft und Medizin gilt und den enge persönliche Bande mit zahlreichen Vertretern der naturwissenschaftlichen Disziplinen, insbesondere der Physik, verbinden.

Ich entbiete meinen Willkommensgruß aber gleichzeitig namens aller Hamburger Ärzte, die stolz darauf sind, seit jeher aufs engste mit den Geschicken dieser ehrwürdigen Gesellschaft verbunden zu sein.

Wir Ärzte empfinden es immer aufs neue mit Genugtuung und besonderer Freude, welche Anziehungskraft die Versammlung Deutscher Naturforscher und Ärzte heute wie früher auszuüben vermag. Gerade vom Standpunkt des Arztes scheint mir das auch durchaus verständlich zu sein. Wir leben ja in einer Zeit der weitgehenden Spezialisierung der Wissenschaften, die als Folge des ungeheuren Wissenszuwachses zwar unvermeidlich und wohl auch notwendig ist, die aber zwangsläufig dazu geführt hat, daß kein Arzt mehr die Fortschritte der Grundlagenforschung zu übersehen, geschweige denn ihren Wert zu beurteilen oder sie gar auszunutzen versteht. Mehr denn je enpfinden wir daher das Bedürfnis nach einer Synthese des so vielfach aufgesplitterten und spezialisierten Wissens unserer Zeit. Dieser Aufgabe aber dienen unsere Tagungen der Naturforscher und Ärzte. Sie zeigen uns, daß wirkliche Fortschritte nicht nur aus dem hochgezüchteten Spezialistentum erwachsen, sondern, und vielleicht in viel höherem Maße, aus dem Zusammenwirken und aus der Zusammenschau mehrerer wissenschaftlicher Disziplinen. Und so repräsentiert auch diese Tagung sozusagen die Ganzheit der Wissenschaft schlechthin. Mit gespannter Aufmerksamkeit blicken daher wir Ärzte nicht nur darauf, wie erfolgreich gerade an den Nahtstellen der einzelnen Wissenschaftsgebiete gearbeitet wird, sondern auch auf die Ergebnisse, die sich gerade aus dem Zusammenwirken mehrerer Grenzgebiete ergeben.

Die Medizinische Fakultät und die Hamburger Ärzteschaft wünschen allen Teilnehmern dieser Tagung und ihrem Präsidenten, Herrn Professor HECKMANN, einen vollen Erfolg dieser Tagung.

Wir alle aber wollen uns verantwortlich fühlen, daß ein echtes Gespräch zustande kommt, ein Gespräch zwischen Menschen verschiedener Art aber gleicher Gesinnung.

Es folgte dann die Festrede des Vorsitzenden Professor Dr. O. HECKMANN, mit folgendem Wortlaut:

Herr Bürgermeister! Herr Senator! Liebe Freunde und Gäste! Meine Damen und Herren!

Lassen Sie mich zunächst danken für die freundlichen Worte der Begrüßung, die wir soeben zum Beginn unserer Tagung hören durften.

Ihnen, Herr Bürgermeister, haben wir nicht allein zu danken für Ihre Ansprache, die uns zeigte, wie deutlich man die Aufgabe der Förderung der Forschung aus ihrem Sinn und Wesen heraus in unserer Stadt anerkennt. Wir haben auch und besonders zu danken für die sehr reale Förderung unserer Tagung.

Wir sind froh zu wissen, daß der erste Bürgermeister von Hamburg zur Zeit Präsident des Bundesrates ist. Wir wissen die Anliegen der Forschung gut bei Ihnen, Herr Bürgermeister, aufgehoben.

Ihnen, Herr SNELL, als dem Vertreter des Rektors der kraftvoll wachsenden Universität Hamburg, und Ihnen, Herr RAETHGEN und Herr SCHUBERT, als den Vertretern der beiden Fakultäten der Universität Hamburg, die unserer Gesellschaft am nächsten stehen, danke ich aufrichtig für Ihre Grußworte.

Sie alle dürfen versichert sein, daß es unserem Vorstand nicht schwer fiel, die schon vor 6 Jahren ausgesprochene Einladung nach Hamburg anzunehmen, wo wir — wie Sie alle wissen — nun schon zum fünften Male tagen. Die Schönheit der Stadt, der Geist, der in ihr lebt, das mächtige Aufstreben ihres wissenschaftlichen

Lebens machten es verlockend, hier wieder einmal zusammenzukommen, und unsere Kinder werden es — so dürfen wir hoffen — wieder tun.

Die örtlichen Vorbereitungen dieser Tagung lagen bei einem Ausschuß unter der zielbewußten Leitung der Herren GEORG WEBER und JOSEF KIMMIG, denen ich besonders danken muß. Ihnen standen manche Helfer zur Seite, die ich nicht alle nennen kann und welchen ich doch danken möchte. Hervorheben muß ich aber die ganz ungewöhnliche Leistung von Herrn LUDWIG MAYR, in dessen Händen alle organisatorischen Fäden zusammenliefen. Ihm fühlen wir uns besonders verpflichtet, ebenso wie der Phoenix-AG. in Harburg, die ihn — Dank dem Einfluß von Herrn GEORG WEBER — mit einem großen Teil seiner Zeit, vereint mit einer Gruppe anonymer Helfer, unseren Vorbereitungen zur Verfügung stellte.

Sodann habe ich Herrn HELFERICH den Dank unserer Gesellschaft zu entrichten für die von ihm als dem Vorsitzenden unserer Schulkommission geleistete Arbeit. Er hat heute morgen öffentlich Bericht erstattet über die gemeinsame Tätigkeit unserer Kommission mit anderen Verbänden in der Arbeitsgemeinschaft Deutsche Höhere Schule.

Man kann höchst konservativen Anschauungen huldigen oder man kann sehr radikale und die Grundlagen unseres Schulwesens berührende Reformen für angemessen halten und muß doch gestehen, daß der Grad von Einmütigkeit über die gegenwärtig konkret möglichen Reformen, den die Arbeitsgemeinschaft erreichte, vor wenigen Jahren noch als völlig utopisch gelten konnte. Diese weitgehende Einmütigkeit ist Ihnen, Herr HELFERICH, in erster Linie zu danken. Sie wird uns ermutigen, die Arbeit der Kommission weiterzuführen.

In den zwei Jahren seit der Freiburger Tagung hat unsere Gesellschaft 65 Mitglieder durch den Tod verloren.

Ich muß mich darauf beschränken, zwei Namen herauszuheben: G. VON BERGMANN und B. RASSOW.

VON BERGMANN war 1938 1. Vorsitzender der Gesellschaft geworden, die 1940 in München stattfinden sollte, aber erst 1950 Wirklichkeit wurde. Diese nach der langen Unterbrechung erste Tagung wird allen, die an ihr teilnahmen, durch die eindrucksvolle Schönheit der Programme in Erinnerung bleiben.

RASSOW war 40 Jahre lang Generalsekretär der Gesellschaft. In dieser langen Zeit hat er die Kontinuität der Gesellschaft verkörpert und viele Tagungen vorbereitet. Er war dabei der unentbehrliche Berater der wechselnden Vorstände.

Allen ihren Toten wird die Gesellschaft ein ehrendes Gedächtnis bewahren.

Sie haben sich von Ihren Plätzen erhoben. Ich danke Ihnen.

Wenn ein Vertreter der theoretischen oder klinischen Medizin, ein Chemiker, Physiker oder Biologe als Präsident unserer Gesellschaft eine unserer Tagungen zu gestalten hat, so kann sein eigenes Arbeitsgebiet den Hintergrund oder gar den Hauptgegenstand des Programmes bilden.

Aber darf ich als Astronom es wagen, mehrere Tausend Ärzte, Lehrer, Naturwissenschaftler aller Art drei Tage lang mit den Gestirnen zu beschäftigen? Ich hätte es leicht gekonnt, aber ich habe es jedenfalls nicht gewagt, sondern geglaubt, meine Aufgabe besser erfüllen zu können. Da es nämlich die physikalische Seite der Gegebenheiten ist, mit welcher der Astronom wesentlich zu tun hat, suchte ich nach physikalischen Tatbeständen, Gedankenreihen oder Methoden, die möglichst verschiedene Gebiete der Naturwissenschaften und Medizin umspannen. Unter einer ganzen Reihe möglicher Themen wurden zwei ausgewählt, die Isotopie und die Mikroskopie. Die erste bezeichnet einen physikalischen *Tatbestand*, das Vorkommen eines chemischen Elementes in mehreren Formen, die sich durch ihr Atomgewicht unterscheiden. Die Isotopie erlaubt es, wie unser Programm zeigt, die Auswirkung eines Faktums von der Astronomie über Geologie, Chemie, Biologie bis weit in die Medizin hinein systematisch zu verfolgen. Die moderne Mikroskopie andererseits zeigt, wie *ein* Gerät, das Mikroskop, als Ergebnis physikalisch-technischer Forschungs- und Entwicklungsarbeit zum wichtigen Handwerkszeug weiter Gebiete der Biologie und Medizin wird. Beide Themen machen also deutlich, wie sehr die Naturwissenschaften — bei aller Verschiedenheit der Gegenstände und Fragestellungen — miteinander verbunden und aufeinander bezogen sind durch die ihnen allen unentbehrliche Physik.

Ich habe an dieser Stelle vielen Hamburger Kollegen zu danken, die mich beraten haben; sodann dem Vorstand unserer Gesellschaft, der meine Vorschläge bereitwillig aufnahm und die Auswahl der Themen maßgeblich bestimmte. Besonders hervorzuheben habe ich die erfolgreiche Aktivität der beiden Herren HANS HERMANN WEBER-Heidelberg und SIEGFRIED STRUGGER-Münster, der Vorsitzenden der medizinischen und naturwissenschaftlichen Hauptgruppen unserer Gesellschaft. Sie machten aus meinen diffusen Vorstellungen im Gebiete der Medizin und Biologie erst ein echtes Programm. Allen *Rednern*, die sich unserer Tagung zur Verfügung stellten, danke ich von ganzem Herzen. Ihr bereitwilliges Eingehen auf unsere Bitten hat unser Programm mit Leben erfüllt.

Die Astronomie also sollte und wollte keine *beherrschende* Rolle bei dieser Tagung spielen. Sie ist es gewohnt, ein bescheidenes Dasein in unserem öffentlichen Leben und in unseren Schulen zu führen. Kein Lehrer der Mathematik, Physik und Geographie ist in unserem Lande — im Gegensatz zu Dänemark und zur Schweiz etwa — gehalten, sich mit der Astronomie auch nur ein Semester lang auseinanderzusetzen. In den Lehrplänen der Schulen sind sogar einige Abbaumaßnahmen zu beobachten. — Ich könnte also nun die Gelegenheit ausnutzen, in großer Ausführlichkeit die Verbindungen der modernen Astronomie aufzuzeigen zur Physik und Mathematik, zur Geodäsie und Geophysik und schließlich zur Technik — angefangen bei Gasentladungen und der Hochfrequenztechnik über die Optik bis zur Hydrodynamik. Das sind lauter nützliche Gefilde, auf welchen man leicht grasen und ernten kann, wenn man etwas in den Boden steckt. Dabei könnte eine Tendenz zur Vernachlässigung der Astronomie leicht wirken wie das Fehlen von Spurenelementen im Dünger auf anerkannt nützlichen Rübenäckern. Aber lassen Sie uns diesen Standpunkt heute und in dieser Feierstunde nicht lange festhalten. Ich bin geneigt, einem Pragmatismus zu huldigen, der noch das Studium abstrakter Theorien und der Geschichte ausgestorbener Völker für überaus nützlich hält, weil es hilft, uns in der inneren und der äußeren Welt zu orientieren.

Obwohl also die Rolle der Astronomie in den nächsten Tagen nicht beherrschend sein wird, habe ich doch die große Freude, das Folgende mitzuteilen:

Der Vorstand der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte hat beschlossen, von Zeit zu Zeit ein Preisausschreiben zu veranstalten, das die Aufmerksamkeit lenken soll auf bestimmte naturwissenschaftliche oder medizinische Probleme, die im jeweiligen Zeitpunkt eine besondere Behandlung verlangen. In diesem Jahre ist ein Preis von DM 7000.— ausgesetzt für die Behandlung des Themas:

„Die Entstehung von Sternen durch Kondensation diffuser Materie".

Dabei wird eine Darstellung der verschiedenen gegenwärtig in der Literatur vorhandenen Ansätze und Theorien gewünscht. Einzelheiten über die formalen Bedingungen werden in verschiedenen Zeitschriften veröffentlicht werden.

Wir hoffen zuversichtlich, daß das Preisausschreiben dazu verhelfen wird, einen undurchsichtigen Fragenkomplex zu klären, um die künftige Forschung in einem Felde zu erleichtern, das immer stärkere Arbeit erfordert.

Nun lassen Sie uns zu unserem eigentlichen Thema kommen.

Es folgte der Festvortrag von Prof. Dr. Otto HECKMANN „Die Astronomie in der Geistesgeschichte der Neuzeit". Der Vortrag ist als erster der wissenschaftlichen Vorträge abgedruckt[1].

Die Festsitzung beschloß der vierte Satz der Eroica von Ludwig van Beethoven. Am Abend trafen sich die Teilnehmer der Versammlung in der Staatsoper; es wurden aufgeführt von Strawinsky die Oper „Oedipus rex", das szenische Oratorium „Mavra" und das Ballett „Le Renard". Der 24. September brachte am Abend ein Festkonzert des Hamburger Symphonie-Orchesters unter der Leitung von Herrn Kapellmeister ALFRED HERING; als Solistin konnte Fräulein HELGA HUSSELS, Berlin,

[1] HECKMANN, O.: Naturwissenschaften 44, 125 (1957).

gewonnen werden. Am Abend des Dienstag fand der öffentliche Vortrag von Herrn Professor Dr. R. KUHN, Heidelberg, über „Aminozucker" ein außerordentlich großes Interesse. Am Mittwoch abend beschloß ein Gesellschaftsabend im Hotel „Atlantik" die 99. Versammlung

Es war gelungen, eine Reihe befreundeter Gesellschaften zu bewegen, ihre Tagungen mit unseren Versammlungen örtlich und zeitlich zu koordinieren. Unter der Leitung von Herrn Professor Dr. B. HELFERICH, Bonn, fand die Tagung der Gesellschaft Deutscher Chemiker am 21. und 22. September 1956 statt; die Gesellschaft für Physiologische Chemie hielt eine Vortragsveranstaltung am 27. und 28. September 1956 unter Leitung von Herrn Professor Dr. K. FELIX, Frankfurt a. M., ab. Es tagte gleichfalls unter Leitung von Herrn Professor Dr. S. STRUGGER, Münster, der Verband Deutscher Biologen am 27. und 28. September 1956; eine Tagung der Meteorologen und Geophysiker überschnitt vom 25. bis 28. September mit unserer 99. Versammlung.

Es war den Teilnehmern Gelegenheit gegeben, außer zehn großen Hamburger Werken die Hamburger Sternwarte und das Bethesda-Krankenhaus in Bergedorf zu besichtigen. In den zahlreichen Hamburger Museen fanden eigene Führungen statt. Den Damen zeigte außerdem eine Reihe gut organisierter Ausflüge die Schönheiten Hamburgs und seiner Umgebung.

Nach den letzten wissenschaftlichen Vorträgen sprach am Spätnachmittag des 26. September Herr Professor Dr. G. KIMMIG folgende Schlußworte:

Herr Präsident, meine Damen und Herren! Mit den hochinteressanten Ausführungen unseres verehrten Gastes Herrn A. DEFANT aus Innsbruck hat die 99. Tagung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte ihren würdigen Abschluß gefunden. Die ausgezeichneten Vorträge, die während der hinter uns liegenden arbeitsreichen Tage gehalten wurden, haben uns tief in die Methode exakter naturwissenschaftlicher Arbeit eingeführt, und man kann nur ahnen, von welch grundsätzlicher Bedeutung die bereits errungenen Erfolge für die Entwicklung unserer Erkenntnisse auf naturwissenschaftlichem und medizinischem Gebiet sein werden.

Es ist in diesem Zusammenhang nicht uninteressant, wenn wir uns mit dem Werdegang der Thematik der 90. Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte vor 28 Jahren hier in Hamburg kurz befassen. Die Probleme, die damals zur Diskussion standen, sind heute in einem Ausmaß gelöst, daß selbst die kühnsten Hoffnungen übertroffen worden sind. Aus der Photochemie der Eisencarbonylverbindungen wurde von OTTO WARBURG das Absorptionsspektrum des Atmungsfermentes abgeleitet, heute kennen wir nicht nur die chemische Struktur und die biologische Funktion der wichtigsten Enzyme der biologischen Oxydation, die Häminproteide, Cytochrome und Cytochromoxydase, die Laktoflavine und die Enzyme des Citronensäurezyklus, sondern wir sind auch recht gut über die Lokalisation in den Mitochondrien unterrichtet.

Von G. BARGER, B. ZONDEK und F. LAQUER wurde die Chemie und Biologie der Hormone in der damaligen Sicht dargestellt, und es war kaum vorauszusehen, daß schon wenige Jahre später die Chemie der Androgene, Oestrogene, Gestagene und der Nebennierenrinden-Hormone nahezu abgeschlossen war. Mit Hilfe der Isotopentechnik sind wir, wie Sie gestern gehört haben, sogar in der Lage, uns eine sehr gut fundierte Vorstellung über ihre Synthese in der lebenden Zelle zu machen. Selbst die Hormone der Hypophyse, die zu den Eiweißkörpern gehören, sind heute teilweise in ihrem Aufbau bekannt, und die Polypeptide Oxytocin (DU VIGNEAND) und Vasopressin sind durch Synthese dargestellt worden.

Der Biologe FLEMING hatte bereits die entscheidende Entdeckung, die zur Entwicklung der Antibiotica führen sollte, gemacht, und DOMAGK war gerade dabei, uns die Chemotherapie der bakteriellen Erkrankungen durch Sulfanilamide zu schenken. Die Ärzte aller Länder waren bereit, diese großen Entdeckungen zum Wohle ihrer Patienten aufzunehmen, und die Medizin hat dadurch einen derartigen Wandel erfahren, daß heute viele Krankheiten verschwunden sind, deren Behandlung und deren Folgen dem Staat noch vor zwei Dezenien Hunderte von Millionen jährlich gekostet haben.

Seitdem die organischen Chemiker die Teerchemie verlassen und sich der Chemie der lebenden Zellen zugewandt haben, ist es der Medizin nur noch mit großen Anstrengungen möglich, die neuesten Erkenntnisse so zu verarbeiten, daß der Blick auf das Ganze dadurch nicht verlorengeht.

Die Biochemiker sind nun dabei, den Ringwall, den die Natur um das Geheimnis des Lebens gelegt hat, zu durchbrechen und uns mit den chemischen Vorgängen, an die der Ablauf des Lebens geknüpft ist, vertraut zu machen. Wir glauben nicht, daß dieses großartige Ringen um die Erkenntnis der Welt, in der wir leben, mit dem Fluch der Hybris belastet sein muß, wenn wir uns der ungeheuren Verantwortung, mit der unsere Arbeit belastet ist, stets bewußt sind.

Erlauben Sie nun bitte, daß ich als Mitarbeiter des Ortsausschusses der Tagung nochmals allen, die zum Gelingen durch ihre Arbeit beigetragen haben, meinen herzlichen Dank ausspreche. Vor allem möchte ich aber dem Vorsitzenden der Gesellschaft, Herrn Professor HECKMANN, für seine unermüdliche, vorbildliche und hervorragende Arbeit danken. Wer die vielen Sitzungen mitgemacht hat, der weiß, mit welch zielbewußter und behutsamer Hand er den Aufbau unserer Tagung zustande gebracht hat.

Zu danken haben wir aber vor allem Ihnen, meine Damen und Herren, die Sie zu uns gekommen sind und durch Ihre rege Anteilnahme Ihr Interesse an unserer Arbeit bekundet haben. Besonders danken wir in herzlicher Verbundenheit unseren Kollegen und Kolleginnen aus dem Osten Deutschlands für ihre Anwesenheit. Insbesondere haben wir zu danken dem Präsidenten der Leopoldina, Herrn Professor MOTHES. Ganz besonders danken wollen wir unseren Kollegen aus dem Ausland, die durch ihre Mitarbeit und ihr Erscheinen zum Gelingen unserer Tagung so viel beigetragen haben.

Lassen Sie mich nun die 99. Tagung mit dem Wunsche schließen, daß wir in zwei Jahren die 100. Versammlung unserer Gesellschaft in Leipzig, in der Stadt, in der die Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte durch OKEN im September 1822 gegründet wurde, ebenso erfolgreich abhalten können.

Niederschrift

über die Geschäftssitzung der 99. Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte zu Hamburg am 26. September 1956, um 8.30 Uhr in „Planten un Blomen"

Vorsitzender: Herr HECKMANN.

Anwesend vom Vorstand ferner die Herren: ANTWEILER, BAUER, BUTENANDT, KAMKE, KIMMIG, MIETZSCH, STRUGGER, H. H. WEBER, ZANGE; es waren außerdem etwa 50 Mitglieder anwesend.

Der Vorsitzende begrüßt die Erschienenen und stellt fest, daß die Mitglieder der Gesellschaft ordnungsgemäß zu der Geschäftssitzung eingeladen wurden und daß an dieser Geschäftssitzung nur Mitglieder der Gesellschaft teilnehmen.

1. Auf Vorschlag des Vorsitzenden beschließt die Geschäftssitzung einstimmig folgende Änderung der Satzungen:

a) §1 der Satzungen mit seiner alten Fassung:

„Der ausschließliche und unmittelbare Zweck der am 16. Februar 1950 in Göttingen von einer Anzahl deutscher Naturforscher und Ärzte neugegründeten ‚Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte' besteht in der Förderung der Naturwissenschaft und Medizin, insbesondere der allen oder mehreren Fächern gemeinsamen

wissenschaftlichen Interessen und in der Pflege persönlicher Beziehungen unter den deutschen Naturforschern und Ärzten. Die Gesellschaft ist eine gemeinnützige; sie soll als Verein in das Vereinsregister eingetragen werden und hat ihren Sitz in Göttingen. Die Gesellschaft erstrebt keinen Gewinn; etwaige Überschüsse und sonstige Zuwendungen werden wieder ausschließlich dem Gesellschaftszweck zugeführt. Kein Mitglied der Gesellschaft hat einen persönlichen Anspruch an das Vermögen der Gesellschaft, auch nicht bei seinem Ausscheiden oder bei Auflösung oder Aufhebung der Gesellschaft"

erhält die neue Fassung:

„Die am 16. Februar 1950 in Göttingen von einer Anzahl deutscher Naturforscher und Ärzte neugegründete ‚Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte' verfolgt ausschließlich und unmittelbar gemeinnützige Zwecke im Sinne der gesetzlichen Bestimmungen und zwar durch Förderung der Naturwissenschaften und Medizin, insbesondere der allen oder mehreren Fächern und gemeinsamen wissenschaftlichen Interessen und der Pflege persönlicher Beziehungen unter den deutschen Naturforschern und Ärzten. Die Gesellschaft soll (als Verein) in das Vereinsregister eingetragen werden und hat ihren Sitz in Göttingen.

Etwaige Gewinne dürfen nur für die satzungsmäßigen Zwecke verwendet werden. Die Mitglieder erhalten keine Gewinnanteile und in ihrer Eigenschaft als Mitglieder auch keine sonstigen Zuwendungen aus Mitteln der Gesellschaft. Das gilt auch für den Fall ihres Ausscheidens oder der Auflösung oder Aufhebung der Gesellschaft".

b) §21 der Satzungen mit seiner alten Fassung:

„Beschlüsse darüber, wie das Vermögen bei Auflösung oder Aufhebung der Gesellschaft oder bei Wegfall ihres bisherigen Zweckes zu verwenden ist, sowie Beschlüsse über Satzungsänderungen, die die Zwecke der Gesellschaft und deren Vermögensverwendung betreffen, dürfen erst nach Einwilligung des zuständigen Finanzamtes ausgeführt werden"

erhält die neue Fassung:

„Bei Auflösung oder Aufhebung der Gesellschaft oder bei Wegfall ihres bisherigen Zweckes fällt das Vermögen der Gesellschaft an die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bad Godesberg, die es unmittelbar und ausschließlich für gemeinnützige Zwecke zu verwenden hat."

Durch diese Änderung sind die im Jahre 1950 aufgestellten Satzungen an die Vorschriften der Gemeinnützigkeits-Verordnung vom 24. Dezember 1953 angepaßt.

2. Der Vorsitzende spricht Herrn HELFERICH, Bonn, den Dank der Gesellschaft für die bisherige Leitung der Schulkommission aus; er teilt mit, daß Herr STRUGGER, Münster, als neuer Leiter der Schulkommission gewonnen wurde.

3. Die 1. Versammlung der Gesellschaft fand im Jahre 1822 in Leipzig statt, ebenso die 100-Jahr-Feier im Jahre 1922. Der Vorstand der Gesellschaft hat daher beschlossen, die 100. Versammlung im September des Jahres 1958 in Leipzig abzuhalten, unter der Voraussetzung, daß der Plan sich als durchführbar erweist.

4. Herr BAUER, Heidelberg, wird am 1. Januar 1957 Vorsitzender und Herr HECKMANN, Hamburg, 1. stellvertretender Vorsitzender. Zum 2. stellvertretenden Vorsitzenden wird Herr OEHLKERS, Freiburg, vorgeschlagen und gewählt.

Als weitere Vorstandsmitglieder werden die Herren MOTHES-Gatersleben und H. H. WEBER-Heidelberg,

als Geschäftsführer der 100. Versammlung die Herren BREDT-Leipzig und BÜRGER-Leipzig vorgeschlagen und gewählt.

Die Geschäftssitzung beschließt einstimmig, den Vorstand zu ermächtigen, auf der nächsten Vorstandssitzung im Februar 1957 zwei weitere Geschäftsführer der 100. Tagung zu ernennen, wenn sich der Plan, in Leipzig zu tagen, als undurchführbar erweisen sollte.

Als Mitglieder des Wissenschaftlichen Ausschusses werden die Herren BENNHOLD-Tübingen, HOLTZ-Halle, SCHUBERT-Hamburg, UNSÖLD-Kiel und WEYGAND-Berlin vorgeschlagen und gewählt.

5. Zum Vorsitzenden der Naturwissenschaftlichen Hauptgruppe hat der Wissenschaftliche Ausschuß Herrn KOPFERMANN-Heidelberg und zum Vorsitzenden der Medizinischen Hauptgruppe Herrn FELIX, Frankfurt gewählt.

6. Der Schatzmeister gibt einen Überblick über die Finanzverhältnisse der Gesellschaft. Die Abschlüsse wurden von den Herren ANSELMINO-Wuppertal und KIKUTH-Düsseldorf geprüft und richtig gefunden. Die Geschäftssitzung ist mit der Entlastung des Schatzmeisters durch den Vorstand einverstanden.

Der Wissenschaftliche Ausschuß hat das Amt der Rechnungsprüfer für die Jahre 1957 und 1958 den Herren ANSELMINO-Wuppertal und KIKUTH-Düsseldorf angetragen.

7. Der Vorsitzende teilt den Text eines Preisausschreibens mit; er lautet:

Der Vorstand der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte hat beschlossen, von Zeit zu Zeit ein Preisausschreiben zu veranstalten, das die Aufmerksamkeit lenken soll auf bestimmte naturwissenschaftliche oder medizinische Probleme, die im jeweiligen Zeitpunkt eine besondere Behandlung verlangen.

In diesem Jahr ist ein Preis von DM 7000.— ausgesetzt für die Behandlung des Themas:

„Die Entstehung von Sternen durch Kondensation diffuser Materie."

Dabei wird eine Darstellung der verschiedenen gegenwärtig in der Literatur vorhandenen Ansätze und Theorien, nicht die einseitige Propagierung einer bestimmten Theorie, gewünscht. Im einzelnen ist folgendes zu sagen:

A. Die Preisschrift soll eine zusammenfassende und kritische Übersicht geben über

1. die Gründe für die Annahme,

a) daß bestimmten Sterngruppen ein definiertes Alter zugeschrieben werden muß,

b) daß gegenwärtig Sterne aus interstellarer Materie entstehen,

2. die in der Literatur vorhandenen Ansätze zu einer physikalischen Theorie der Entstehung von Sternen und Sterngruppen durch Kondensation interstellarer Materie,

3. die Versuche,

a) das Farbenhelligkeitsdiagramm verschiedener Sterngruppen,

b) die räumliche Verteilung und die Geschwindigkeitsverteilung der Sterne von verschiedenem Typus und verschiedener „Population" theoretisch zu verstehen.

B. Es bleibt den Bewerbern überlassen zu entscheiden, wieweit sie

1. die Aufsammlung von Materie durch bestehende Sterne,

2. die Entstehung von Doppelsternen und mehrfachen Sternsystemen

oder andere ihnen notwendig erscheinende Fragenkomplexe in die Darstellung hineinziehen wollen.

C. Nicht erwartet wird die Darstellung der Sternentstehung unter physikalischen Bedingungen, die von den gegenwärtigen qualitativ wesentlich verschieden sind.

Der Preis wird für die beste Arbeit ausgesetzt. Wenn mehrere gleichgute Arbeiten eingehen, kann der Preis geteilt werden. Wenn keine Bewerbungen eingehen oder die eingegangenen Bewerbungen den Ansprüchen des Preisrichterkollegiums nicht genügen, so fällt die ausgesetzte Summe an die Gesellschaft zurück. Der Kreis der Bewerber ist nicht beschränkt. Die Preisschrift soll zur Erleichterung der Arbeit der Preisrichter in deutscher, englischer oder französischer Sprache abgefaßt sein. Jede Preisschrift ist in drei Exemplaren an die Hamburger Sternwarte in Hamburg-Bergedorf einzusenden. Sie soll durch ein Deckwort gekennzeichnet sein; Name und Anschrift des Verfassers sind in einem verschlossenen Briefumschlag unter dem gleichen Deckwort mitzuteilen. Der letzte Termin für den Eingang der Arbeiten bei der Hamburger Sternwarte in Hamburg-Bergedorf ist der 30. April 1958, 24.00 Uhr.

Die Teilnehmer unterwerfen sich dem Preisgericht, das unter Ausschluß des Rechtsweges verbindlich entscheidet.

Als Preisrichter wurden vom Vorstand der Gesellschaft die Herren BIERMANN-Göttingen, HECKMANN-Hamburg und UNSÖLD-Kiel berufen.

Wir hoffen zuversichtlich, daß das Preisausschreiben dazu verhelfen wird, einen undurchsichtigen Fragenkomplex zu klären, um die künftige Forschung in einem Felde zu erleichtern, das immer stärkere Arbeit erfordert.

Hamburg und Bonn, den 26. September 1956

gez. O. HECKMANN gez. H. J. ANTWEILER

Zusammensetzung des Vorstandes und des Wissenschaftlichen Ausschusses ab 1. Januar 1957

I. Vorsitzender und stellvertretende Vorsitzende:

Professor Dr. K. H. BAUER, Heidelberg, Gustav-Kirchhoff-Straße 16
Professor Dr. O. HECKMANN, Hamburg-Bergedorf, Sternwarte
Professor Dr. F. OEHLKERS, Freiburg i. Br., Schänzlestraße 9

II. Schatzmeister:

Professor Dr. MIETZSCH, Wuppertal-Elberfeld, Friedrich-Ebert-Straße 217

Diese vier Herren bilden den Vorstand der Gesellschaft im Sinne des B.G.B. §26

III. Vorsitzende der beiden Hauptgruppen:

Professor Dr. H. KOPFERMANN, Heidelberg, Philosophenweg 16
Professor Dr. K. FELIX, Frankfurt a.M., Weigertstraße 3

IV. Vorstandsmitglieder:

Professor Dr. BÜRGER, Leipzig O 27, Naundorferstraße 48
Professor Dr. BUTENANDT, München 15, Goethestraße 31
Professor Dr. KAMKE, Tübingen, Eßlinger Straße 16
Professor Dr. K. MOTHES, Gatersleben, Kreis Aschersleben
Professor Dr. H. H. WEBER, Heidelberg, Jahnstraße 29
Professor Dr. WESTHUES, München, Schwere Reiter-Straße 9

V. Geschäftsführer der 99. Versammlung:

Professor Dr. KIMMIG, Hamburg 20, Martinistraße 52
Dr. GEORG WEBER, Hamburg-Harburg, Ehestorferweg 173

VI. Geschäftsführer der 100. Versammlung:

Professor Dr. BREDT, Leipzig, Liebigstraße 26
Professor Dr. BÜRGER, Leipzig O 27, Naundorferstraße 48

VII. Generalsekretär und Sekretär der Naturwissenschaftlichen Hauptgruppe:

Professor Dr. H. J. ANTWEILER, Bonn, Meckenheimer Allee 168

VIII. Sekretär der Medizinischen Hauptgruppe:

Professor Dr. RANDERATH, Heidelberg, Voßstraße 2

IX. Früherer Sekretär der Gesellschaft:

Professor Dr. HUEBSCHMANN, Pleiserhohn über Oberpleis (Bez. Köln)

Der Wissenschaftliche Ausschuß

besteht aus:

1. den vorstehend genannten Mitgliedern des Vorstandes,
2. den früheren Vorsitzenden der Gesellschaft:
   Professor Dr. FITTING, Bonn, Rochusweg 23
   Professor Dr. KÜHN, Tübingen, Spemannstraße 34
   Professor Dr. BUTENANDT, München 15, Goethestraße 31
   Professor Dr. BÜCHNER, Freiburg i. Br., Albertstraße 19
3. den nachstehend gewählten Mitgliedern:
   a) *Ende 1958 ausscheidend:*
   Professor Dr. BREDT, Leipzig, Liebigstraße 26
   Professor Dr. K. HAHN, Gießen, Haus Uhlenhorst am Alten Feld
   Professor Dr. HOFF, Frankfurt a.M.-Süd, Ludwig-Rehn-Straße 14
   Professor Dr. KIKUTH, Düsseldorf, Witzelstraße 109
   Professor Dr. PFANNENSTIEL, Freiburg i. Br., Günterstalstraße 32
   Professor Dr. STUBBE, Gatersleben bei Halle, Institut für Kulturpflanzenforschung
   Professor Dr. JULIUS WAGNER, Frankfurt a.M., Gartenstraße 66
   Professor Dr. ZAUNICK, Halle a.d. Saale, Große Steinstraße 32
   b) *Ende 1960 ausscheidend:*
   Professor Dr. GERLACH, München 13, Franz-Josef-Straße 15/II, Gartenhaus
   Professor Dr. HAXEL, Heidelberg, Mönchhofstraße 26
   Professor Dr. B. HELFERICH, Bonn, Meckenheimer Allee 168
   Professor Dr. KAUFMANN, Köln, Universitäts-Frauenklinik
   Professor Dr. P. MARTINI, Bonn, Haager Weg 32
   c) *Ende 1962 ausscheidend:*
   Professor Dr. H. H. BENNHOLD, Tübingen, Uhlandstraße 13
   Professor Dr. F. HOLTZ, Halle a.d. Saale, Leninstraße 22a
   Professor Dr. G. SCHUBERT, Hamburg-Eppendorf, Universitäts-Krankenhaus
   Professor Dr. A. UNSÖLD, Kiel, Neue Universität, Bau 131
   Professor Dr. F. WEYGAND, Berlin-Charlottenburg 2, Straße des 17. Juni 115

Radioaktivität und Alter der Erde*)

Von F. HOUTERMANS, Bern

Die uns an der Erdoberfläche und in Meteoriten bekannte Materie befindet sich in einem Zustand des Nicht-Gleichgewichts, da langlebige Kerne noch vorhanden sind. Wir kennen andererseits keinen Mechanismus, durch den schwere radioaktive Kerne in unserem Planetensystem aufgebaut werden können. Als Alter der Elemententstehung u soll daher jener Zeitpunkt gekennzeichnet werden, zu welchem die Entstehung jener Elemente aufgehört hat. Gewisse isotopensystematische Gesichtspunkte, wie z.B. das Argument von WEFELMEIER, wonach ursprünglich vom U^{235} nicht mehr vorhanden gewesen sein kann als vom U^{238}, erlauben eine Abschätzung von u nach oben, etwa $u \leq 6{,}5 \cdot 10^9 a$. Diese Zahl wird gestützt durch eine Extrapolation der ursprünglichen Häufigkeit von K^{40}.

H. SUESS [*15*] versuchte 1949, ein möglichst vollständiges Bild der Häufigkeiten der Elemente im Kosmos und damit aus den bekannten Isotopenhäufigkeiten eine Tabelle der Häufigkeiten der einzelnen Kernsorten zu gewinnen. Dies ist eine äußerst schwierige Aufgabe, denn sowohl die bekannten Häufigkeiten der Elemente etwa in den magmatischen Gesteinen der Erde, den Eisen- und Steinmeteoriten wie in den Sternatmosphären stellen chemische Anreicherungen der einen oder anderen Gruppe von Elementen dar, die durch rein chemische und physikalisch-chemische Verhältnisse der Entstehung bedingt sind. Nur in wenigen Fällen, wie z.B. beim Vergleich der Edelgase untereinander, bei der Gruppe Eisen-Kobalt-Nickel, bei den seltenen Erden untereinander dürfen wir hoffen, die wahren kosmochemischen Verhältnisse aus den Analysenwerten von irdischen, meteoritischen oder astrophysikalischen Daten zu erschließen. 1956 hat nun SUESS zusammen mit UREY [*16*] auf Grund des inzwischen sehr vervollständigten experimentellen Materials eine neue Tabelle der Häufigkeiten der Elemente im Kosmos publiziert, der wir ein viel größeres Vertrauen schenken dürfen als allen früheren solchen Zusammenstellungen. Es hatte sich nämlich schon 1949 herausgestellt, daß in denjenigen Fällen, in denen wir vermuten dürfen, die echten, nicht durch chemische Separationsvorgänge verfälschten Häufigkeitsverhältnisse vor uns zu haben, die Häufigkeitssummen der Isobaren gerader und ungerader Massenzahl auf zwei glatten Kurven liegen, wenn man sie als Funktion der Massenzahl aufträgt. Die erwähnten Tabellen wurden nun so angefertigt, daß die Häufigkeitskurven der geraden und der ungeraden Isotope einigermaßen glatte Kurven ergaben, und daraus der Verarmungs- bzw. der Anreicherungsgrad einer Gruppe voneinander ähnlichen chemischen Elemente in der Lithosphäre, den Stein- und Eisenmeteoriten berechnet.

Nun gibt es einige wenige Isotope gerader Masse und ungerader Ordnungszahl, deren Kerne also aus einer ungeraden Zahl von Protonen und Neutronen bestehen. Wir haben Grund zur Vermutung, daß solche Isotope, wenigstens bei Massen ≥ 40, instabil sind mit mehr oder weniger großen Halbwertszeiten. Legt man nun die Häufigkeitstabelle von SUESS und UREY zugrunde und trägt den Logarithmus der Häufigkeiten dieser sog. u, u-Kerne als Funktion der Massenzahl auf, so erhält man auch hier, wie Fig. 1 zeigt, eine einigermaßen glatte Kurve, wobei freilich das K^{40}, das einzige Element mit einer dem Alter der Erde vergleichbaren Halbwertszeit, nicht auf dieser Kurve liegt, sondern wesentlich tiefer. Man kann sich nun fragen, welche Zeit verflossen sein muß, seit die Häufigkeit des K^{40} auf der eingezeichneten Kurve der Häufigkeiten der u, u-Kerne gelegen hat, da dessen Halbwertszeit bekannt ist. Sie beträgt $1{,}26 \cdot 10^9 a$. Man erhält dann einen Wert von u zwischen 4,5 und $5{,}3 \cdot 10^9 a$, also eine Abschätzung aus einem vollkommen verschiedenen Argument, der das Argument

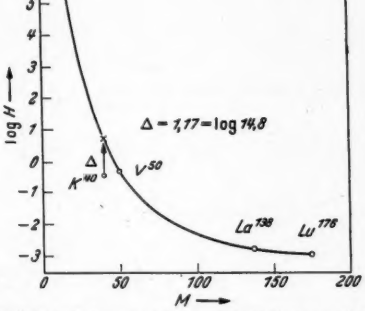


Fig. 1. Häufigkeit H der u, u-Kerne nach H. SUESS und H. C. UREY [*16*] (Si = 10^6)

von WEFELMEIER für die Zeit seit der Entstehung der Elemente unseres Planetensystems wesentlich zu stützen scheint.

Wenden wir uns nun zur Frage, was radioaktive Methoden über das Alter der Erde selbst auszusagen vermögen. Wir haben gute Gründe anzunehmen, daß das Vorhandensein der natürlich radioaktiven Elemente Uran, Thorium und deren Folgeprodukte sowie des Kaliums und Rubidiums mit ihren radioaktiven Isotopen K^{40} und Rb^{87} auf unserer Erde sich wenigstens in Konzentrationen, die mit denen der Lithosphäre vergleichbar sind (U $4 \cdot 10^{-6}$, Th $1{,}2 \cdot 10^{-5}$, K $2{,}6 \cdot 10^{-2}$, Rb $1{,}3 \cdot 10^{-4}$), sich auf eine Schicht von etwa 20 km oder etwa 5500 kg/cm² beschränkt. BIRCH hat aus der Energieentwicklung durch den Zerfall der radioaktiven Elemente und dem heute durch neuere Messungen gut bekannten Wärmestrom zur Erdoberfläche, der aus der geothermischen Tiefenstufe und der Wärmeleitung an der Erdoberfläche sich berechnen läßt, die Tiefe einer Gesteinsschicht von etwa granitischer Zusammensetzung, in der praktisch die Gesamtmenge der obengenannten radioaktiven Elemente der Erde konzentriert ist, berechnet. Er kam zu einer Dicke von 20 km.

Da die Gravitationsenergie der Erdmaterie pro Masseneinheit mit 9000 cal/g um Größenordnungen höher ist als die Sublimationswärme fester Erdmaterie

*) Vortrag, gehalten auf der 99. Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte am 24. September 1956 in Hamburg.

von der mittleren Zusammensetzung der Erde, ist es schwer, sich den Anfangszustand der Erde anders als den einer homogen durchmischten Gas- oder Flüssigkeitskugel vorzustellen. Wir stehen also vor der Tatsache, daß innerhalb eines Zeitraumes, der sicher kleiner als die Zeit seit der Separation der Lithosphäre, wahrscheinlich sogar viel kleiner als diese war, eine Entmischung der Erdmaterie stattgefunden hat, die eine Anreicherung der radioaktiven Elemente in der äußeren Erdkruste von 20 km Dicke bewirkt haben muß. Freilich besteht heute noch große Unklarheit über den Entmischungsmechanismus, der in relativ kurzer Zeit eine so starke Konzentration der radioaktiven Elemente an der Erdoberfläche bewirkt haben kann. Wir wollen uns also im folgenden auf den Standpunkt stellen, die Dauer der Entmischungsperiode der Erde sei klein gegen die seither verflossene Zeit, und versuchen, diese Zeit w, die wir als Alter der Erdkruste bezeichnen wollen, abzuschätzen.

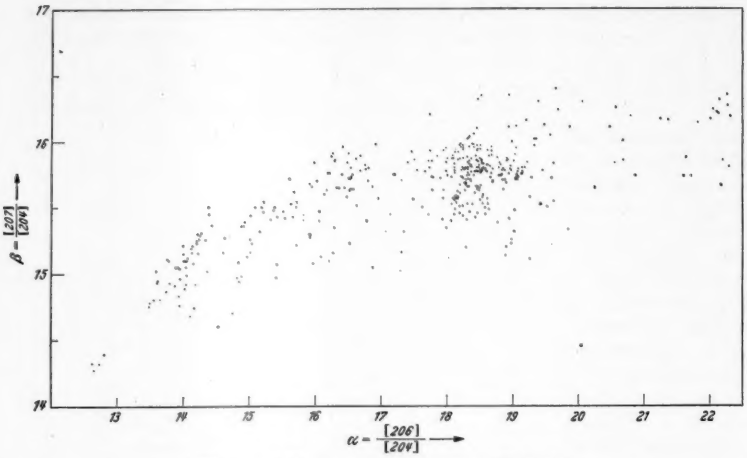


Fig. 2. α, β-Diagramm mit gemessenen Bleiproben

Die Handhabe hierzu bietet die von A. O. NIER entdeckte Variation in den Isotopenhäufigkeiten des „gewöhnlichen" Bleis [*10*]. Wir verstehen unter gewöhnlichem Blei dabei solches, das aus nicht radioaktiven Lagerstätten stammt, also z. B. aus Bleiminen oder kleineren Vererzungsvorgängen, bei denen Bleiverbindungen in relativ hoch konzentrierter Form sich gebildet haben. Das gewöhnliche Blei enthält die folgenden Isotope: Pb^{204}, das nicht Endprodukt einer Zerfallsreihe ist, sowie die Isotope Pb^{206}, Pb^{207} und Pb^{208}, die die Endprodukte der drei in der Natur vorkommenden radioaktiven Zerfallsreihen sind, deren Anfangsglieder die Isotope U^{238}, U^{235} und Th^{232} sind. Trägt man in einem Diagramm das Isotopenverhältnis $\alpha = Pb^{206}/Pb^{204}$ als Abszisse gegen $\beta = Pb^{207}/Pb^{204}$ als Ordinate ein, so entspricht jeder Sorte gewöhnlichen Bleis in diesem Diagramm ein Punkt. Fig. 2 zeigt ein solches Diagramm für etwa 400 Sorten gewöhnlichen Bleis verschiedener Herkunft, die in den Laboratorien von Toronto, Minneapolis, Bonn, Oak Ridge und Bern mit dem Massenspektrometer gemessen wurden.

Das Blei der Eisenmeteoriten, von dem noch später die Rede sein wird, ist nicht mit eingetragen. Dabei hatte sich gleich anfangs herausgestellt, daß Bleisorten sehr hohen geologischen Alters mehr links unten, solche jüngeren geologischen Alters mehr rechts oben in dem α, β-Diagramm erscheinen. Dies war die Veranlassung dazu, daß GERLING [*5*], HOLMES [*7*] und der Vortragende [*8*], [*3*] ein Modell für die zeitliche Veränderlichkeit der Isotopenverhältnisse im gewöhnlichen Blei angegeben haben, das es erlaubt, das Alter der Erdkruste w zu berechnen. Weitaus der größte Teil des in der Erdkruste vorhandenen Bleis wie aller seltenen Schwermetalle findet sich nicht in der Form von hochgradigen Bleimineralien, sondern ist in feinster Verteilung noch heute im Urgestein vorhanden, wo es mit allen anderen Elementen, darunter auch mit Uran und Thorium vergesellschaftet ist. Sei m das auf den heutigen Zeitpunkt für den Uranabfall allein extrapolierte Verhältnis $m = (U^{238}/Pb^{204})_{heute}$ in einem solchen Gestein, das wir als das Muttergestein eines Blei-Erzes bezeichnen wollen. $m(t)$ ist also eine rein chemische Eigenschaft des Gesteins, gegeben durch das chemische Verhältnis von Uran zu Blei. Zu einem gegebenen Zeitpunkt, vor p Jahren sei nun aus dem Muttergestein das Blei in hochkonzentrierter Form ausgeschieden, also von dem Uran und Thorium, mit dem es assoziiert war, getrennt worden. Dabei ist das aus dem Uran- und Thorium-Zerfall stammende Blei, das einen Teil der Isotopen 206, 207 und 208 gebildet hat, gleichfalls mit ausgeschieden worden. Seien α_w und β_w die Werte von α und β zum Zeitpunkt w, also für das in der homogen gedachten Erde vorhandene Urblei, so gilt allgemein

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= \alpha_w + \int_{-w}^{0} m(t)\, e^{-\lambda t}\, \lambda\, dt\,^{*)} \\ \beta &= \beta_w + \tfrac{1}{139} \int_{-w}^{0} m(t)\, e^{-\lambda' t}\, \lambda'\, dt, \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

wo λ und λ' die Zerfallskonstanten von U^{238} bzw. U^{235} sind. Diese Gleichung gilt allgemein. Da aber im allgemeinen der Verlauf von $m(t)$ unbekannt ist, lassen sich aus diesen Gleichungen nur in zwei Spezialfällen Schlüsse auf das Alter ziehen. Denn nur in diesem Fall ist ein „Alter" definiert:

Fall I. Radioaktives Blei.

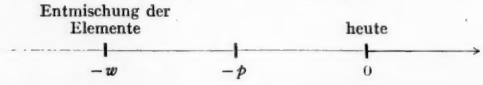
$$m(t) \approx 0 \quad \text{für} \quad -w < t < -p$$
$$m(t) = \text{const} \quad \text{für} \quad -p < t < 0, \quad m = \mu \gg 1.$$

Fall II. „Gewöhnliches" Blei.

$$m(t) = \text{const} = \mu \quad \text{für} \quad -w < t < -p$$
$$m(t) = 0 \quad \text{für} \quad -p < t < 0.$$

Der Fall I entspricht der Bildung eines Uranminerals zur Zeit $t = -p$. Untersucht wird dann das in diesem Mineral enthaltene Blei, das seither entstanden ist.

*) Der Ablauf der Zeit t wurde wie folgt angesetzt:



Der Fall II entspricht dem gewöhnlichen Blei und geht von der Hypothese aus, das in dem Erz enthaltene Blei habe vom Zeitpunkt der Bildung der Erdkruste bis zum Zeitpunkt der Entstehung des Bleierzes in einem Muttergestein von konstantem m-Wert gelegen. Das bedeutet, daß während dieses Zeitintervalles die zeitliche Veränderlichkeit des Verhältnisses zwischen Uran und den entsprechenden Pb-Isotopen nur durch den Zerfall des Urans zu Blei bestimmt war. Wir legen also die Annahme zugrunde, daß schon bei der Bildung der Erdkruste eine Differentiation in Magmen verschiedenen μ-Wertes eingetreten ist, die sich nachher nicht mehr in nennenswertem Maße durch chemische Änderungen hinsichtlich des m-Werts geändert haben soll. Sicherlich ist diese Annahme eine gewisse Simplifikation gegenüber den mannigfaltigen möglichen Änderungen im Chemismus der Gesteine.

Die Gln. (1) vereinfachen sich dann zu

$$\alpha - \alpha_w = (\exp \lambda w - \exp \lambda p) \quad (2a)$$

und

$$\beta - \beta_w = 1/139 (\exp \lambda' w - \exp \lambda' p). \quad (2b)$$

Durch Division von (2a) durch (2b) gewinnt man die fundamentale Gleichung.

$$\frac{\alpha - \alpha_w}{\beta - \beta_w} = 139 \frac{e^{\lambda w} - e^{\lambda p}}{e^{\lambda' w} - e^{\lambda' p}}. \quad (3)$$

Diese Gleichung enthält, angewandt auf ein gewöhnliches Blei mit bekannten α, β und bekanntem Bildungsalter p, 3 Unbekannte α_w, β_w und das Alter der Erdkruste w. Die oben genannten Autoren haben schon 1946 versucht, unter Benutzung der damals einzig bekannten 25 NIERschen Isotopenanalysen und von Angaben der Geologen für das mutmaßliche geologische Alter der Proben die Werte von α_w und β_w zurückzuextrapolieren, und dabei Werte von w zwischen 2,9 und $3{,}5 \cdot 10^9$ Jahren berechnet. Doch konnte diese Rückextrapolation nicht mit großer Genauigkeit vorgenommen werden, einmal weil die Altersangaben für die Alter der Bleimineralien sehr unsicher waren, zum anderen weil nur wenig experimentelles Material zur Verfügung stand. Wesentlich änderte sich die Situation, als 1953 den Amerikanern C. PATTERSON, H. BROWN, M. INGHRAM und G. TILTON [*12*] ein Versuch gelang, den schon 1947 H. SUESS und der Verfasser erfolglos in Angriff genommen hatten, nämlich das Blei aus einem Eisenmeteoriten zu isolieren und einer Isotopenanalyse zu unterziehen. Eisenmeteoriten enthalten nämlich nur $0{,}9 \cdot 10^{-6}$ g Pb/g und sicher weniger als $4 \cdot 10^{-9}$ g U/g und $1{,}5 \cdot 10^{-8}$ g Th/g. Dies entspricht einem Wert von $\mu \leq 0{,}2$. Deshalb hatte der Verfasser schon 1946 vermutet, in dem Blei der Eisenmeteoriten das gleiche Blei zu finden, das bei Bildung der Erdkruste vorhanden war. Wir wissen nämlich durch zahlreiche Isotopenanalysen an stabilen Schwerelementen, bei denen durch natürliche physikalisch-chemische Vorgänge es zu keiner merklichen Isotopenanreicherung kommen kann, daß die Isotopenverhältnisse meteoritischen Materials sich nicht von denen terrestrischen Materials unterscheiden. Es lag also nahe, das in den Eisenmeteoriten von den genannten Verfassern gefundene Blei mit Werten $\alpha = 9{,}41$ und $\beta = 10{,}27$ als das gesuchte „Urblei" anzusehen, und diese Werte für α_w und β_w zu akzeptieren. Tut man das, so bleibt von den vorhin erwähnten 3 Unbekannten in unserer Gleichung nur eine, nämlich w. Verwenden wir zur Konstruktion unseres Diagrams eine Anzahl von Bleisorten, die uns von den Geologen mit Sicherheit als „jung", z.B. tertiär bezeichnet werden, so läßt sich das Alter der Erdkruste unter den Voraussetzungen des angegebenen Modells mit großer Genauigkeit berechnen. Dabei kommt es gar nicht auf eine genaue Altersangabe dieser „jungen" Bleisorten an, sie könnten ebenso etwa 200 Millionen Jahre alt sein, der erhaltene Wert für w ist dagegen sehr unempfindlich. Er beträgt

$$w = (4{,}5 \pm 0{,}3) \cdot 10^9 \text{ Jahre}.$$

Zu genau dem gleichen Resultat kamen unabhängig, aber mit einer etwas anderen Berechnungsweise PATTERSON und Mitarbeiter [*12a, b*]. Die Fig. 3 und 4 zeigen das unter diesen Voraussetzungen konstruierte Bleidiagramm nach den sog. „Bern-graphs", das zur

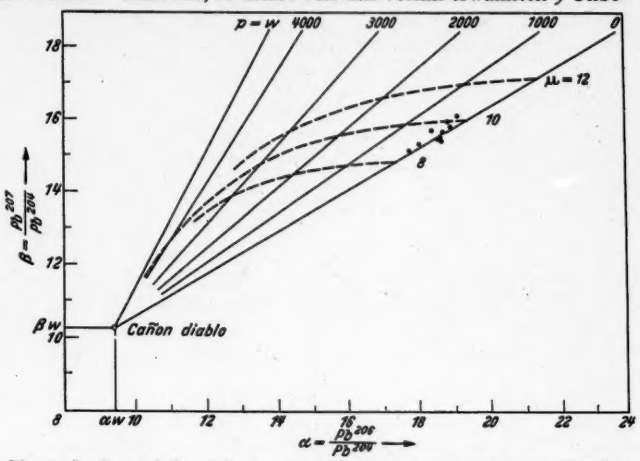


Fig. 3. Isochronenfächer mit den zur Berechnung des Erdalters w verwendeten Bleiproben [*8c*]

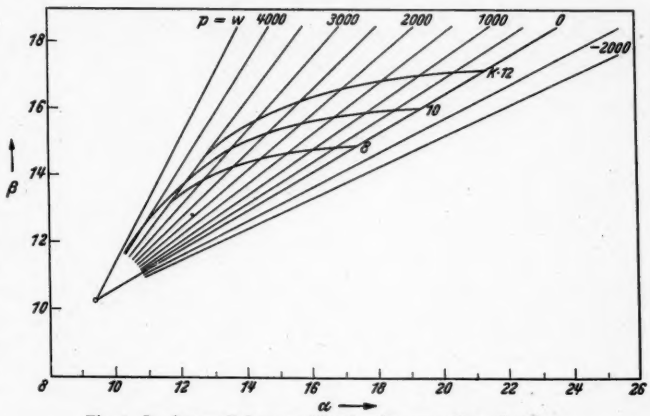


Fig. 4. Isochronenfächer zur Altersbestimmung: Bern-Graphs

Grundlage zahlreicher Altersbestimmungen geworden ist. Denn nachdem nun das Diagramm bekannt ist, läßt sich für jedes gewöhnliche Blei ein Wert der beiden Parameter, nämlich p, des sog. „Modellalters" und von μ, dem auf heute extrapolierten Wert des Verhältnisses U^{238}/Pb^{204} im „Muttergestein" ermitteln. Die von α_w, β_w ausgehenden gekrümmten Kurven sind die Kurven der Gl. (3) für konstantes μ, die sog. „Bleientwicklungslinien". Sie geben die zeitliche Variation von α und β im Muttergestein vom Zeitpunkt w bis zum Vererzungszeitpunkt p wieder. Die Gl. (3) ist für festes p die Gleichung einer Geraden im α, β-Diagramm. Dies bedeutet, daß die Punkte des Diagramms, die gleichzeitig aus Magmen verschiedenen chemischen Uran-Bleiverhältnisses, also bei konstantem p, aber verschiedenem μ, entstandenen Bleierzen entsprechen, auf einer Geraden liegen müssen. Der Vergleich der Messungen an mehreren hundert Bleiproben mit dem Diagramm zeigt nun, daß die μ-Werte, die sich hier ergeben, nur verhältnismäßig wenig variieren, nämlich nur zwischen etwa 9 und etwa 11. Das bedeutet, daß die Muttergesteine der verschiedenen Bleisorten trotz der Mannigfaltigkeit ihres Chemismus sich nur wenig in ihren μ-Wert unterscheiden. Dies bildet eine nachträgliche Rechtfertigung für die Annahme von $m = \text{const}$ in unserem Modell, das uns den Übergang von Gl. (1) zu Gl. (2) und die Herleitung der Grundgleichung (3) erlaubte. Im allgemeinen Falle, daß $m(t)$ zeitlich veränderlich war, ist das Modellalter p definiert durch die Gl. (4)

$$\frac{e^{\lambda w} - e^{\lambda p}}{e^{\lambda' w} - e^{\lambda' p}} = \frac{139 \int_{-w}^{0} m(t)\, e^{-\lambda t}\, \lambda\, dt}{\int_{-w}^{0} m(t)\, e^{\lambda' t}\, \lambda'\, dt} = \frac{\alpha - \alpha_w}{\beta - \beta_w},$$

wobei für w der oben gegebene Wert angenommen wird.

Die Tatsache der experimentellen Konstanz von μ, die Tatsache also, daß fast alle Bleisorten ungefähr auf einer Blei-Entwicklungslinie liegen, hat die Toronto-Gruppe veranlaßt, ganz auf die Festlegung eines Anfangspunktes zu verzichten und eine Haupt-Bleientwicklungslinie anzunehmen, die sie mit Bleierzen möglichst gut bekannten geologischen Alters zeitlich festzulegen versuchten. Dazu benutzen sie die Gln. (2), zu denen noch unter der Voraussetzung, daß auch das auf heute extrapolierte Verhältnis $\varkappa = Th^{232}/U^{238}$ neben μ konstant war, eine anologe Gleichung für den Th-Zerfall hinzukommt. Aus dieser läßt sich ein weiteres „Alter", aus dem der Messung gleichfalls zugänglichen $\gamma = Pb^{208}/Pb^{204}$ berechnen.

Grundsätzlich sind die aus dem „Toronto-graph" berechneten Alterswerte von denen der „Bern-graphs" nicht verschieden, wenn deren aus den Pb^{206} und Pb^{207}-Werten berechnete Alter miteinander übereinstimmen. Weichen jedoch diese voneinander merklich ab, so braucht, wie GEISS [4] gezeigt hat, das nach der oben gegebenen Methode berechnete Alter nicht einmal zwischen den beiden Alterswerten, die aus dem Pb^{206} und dem Pb^{207} berechnet sind, zu liegen. Nach unserer Interpretation handelt es sich dann um einen Fall von vom Durchschnitt abweichendem μ für das Muttergestein. Übrigens ergibt sich, wenn das Blei der Eisenmeteoriten mit dem terrestrischen „Urblei" identifiziert wird, auch unter Benutzung der Torontographs etwa der gleiche Wert für das Alter der Erdkruste w.

Es darf jedoch nicht verschwiegen werden, daß es anomale Blei-Arten gibt, für welche sich eine mitunter sehr krasse Diskrepanz zwischen dem aus unserem Diagramm oder dem der Toronto-Gruppe berechneten Modell-Alter und dem vermuteten geologischen Alter eines Erzes ergibt. Diese Anomalie kann zweifacher Art sein. In einigen Fällen, wie z.B. bei Bleiberg in Kärnten oder Mibladen in Nordafrika, erhalten wir ein wesentlich höheres Modell-Alter für ein Blei, als dem Alter der geologischen Schicht entspricht, in der sich die Lagerstätte vorfindet. Wir sprechen in solchen Fällen von einem sog. B-Typ (nach Bleiberg benannt). Dieser Fall ist leicht zu verstehen. Das Modellalter gibt ja den Zeitpunkt der ersten Mineralisation an, d.h. die Zeit der Abtrennung vom Uran und Thorium des Muttergesteins. Wenn später ein solches Blei, etwa durch hydrothermale Lösungen wiedergelöst und in einer jüngeren geologischen Schicht, die von der Lösung durchdrungen wurde, abgeschieden worden ist, so ist für das durch das Diagramm gegebene Modellalter die Zeit der ersten Mineralisation, nicht die der letzten Kristallisation maßgebend. Dieser Fall entspricht übrigens genau dem von SCHNEIDERHÖHN aus anderen Gründen vielfach vermuteten Fall der sog. remobilisierten oder durchgepausten Lagerstätten.

Die zweite Anomalie in der Isotopenzusammensetzung gewisser Bleie betrifft die sog. J-Typen, benannt nach der Fundstelle Joplin, Missouri, die diesen Typ in besonders ausgesprochener Form zeigt. Entsprechend dem oben angeführten Modell für $m = \mu = \text{const}$ dürfte es keine Bleisorten geben, deren Bildpunkte in dem α, β-Diagramm rechts unterhalb der Isochrone für $p = 0$ liegen. Punkte auf dieser Isochrone entsprechen nämlich nach dem Modell heute gebildeten Bleisorten aus Muttergesteinen verschiedenen Urangehaltes, charakterisiert durch verschiedenes μ. Punkte rechts unterhalb der Nullisochrone würden formal nach diesem Modell „negative" Bildungsalter ergeben, d.h., sie dürften sich modellgemäß erst in später Zukunft bilden. Zu diesen sog. J-Typen gehören die erwähnten Fundstätten in Joplin, ferner die von Sudbury, Ontario und die sog. Tri-State Mines, die von der Toronto-Gruppe eingehend untersucht worden sind. Es ist klar, daß beim Vorliegen eines J-Typs sich das einfache, oben angeführte Modell als unzureichend erweist. Wie schon GEISS 1954 gezeigt hat [3], läßt sich eine solche Anomalie unschwer verstehen, wenn das Blei im Verlauf seiner geologischen Geschichte eine sprungartige oder allmähliche Vergrößerung des μ-Wertes seines Muttergesteins erfahren hat. Dies läuft auf desselbe hinaus wie die Auffassung, das Blei stelle ein Gemisch aus einem gewöhnlichen Blei mit einem merklichen Prozentsatz eines Zerfallsbleis aus einem uranreichen Milieu dar. In der Tat sind Lagerstätten, die dem J-Typ angehören, durch eine starke Streuung in ihrer Isotopenzusammensetzung charakterisiert entsprechend einer größeren oder geringeren Aufnahme von Zerfallsblei aus einem stärker uranhaltigen Milieu. In der Tat finden RUSSELL und Mitarbeiter unter den zahlreichen untersuchten Bleisorten der Sudbury-Mine, die fast sämtlich dem Joplin-Typ angehören, auch solche, die sich als durchaus normal erweisen und

ein Modellalter von etwa 1000 Ma ergeben. Es ist natürlich schwierig, von einer Probe von vorneherein zu sagen, ob es sich um einen J-Typ handelt oder nicht, d.h., ob das wahre Alter nicht größer ist als das aus dem Diagramm abgelesene Modellalter. Glücklicherweise hat sich aber sowohl bei den Arbeiten der Arbeitsgruppe in Toronto wie nach unseren eigenen Erfahrungen gezeigt, daß anomale J-Typen außer durch starke Streuung in den Isotopenverhältnissen einer Lagerstätte meist durch einen besonders geringen Gehalt an Spurenelementen gekennzeichnet sind. Wenn es sich um eine Mineralisation handelt, die neben Blei noch weitere Elemente wie etwa Zink umfaßt, so ist dies ein deutliches Zeichen dafür, daß hierbei kein J-Typ vorliegt. Hier ist noch ein weites Feld für systematische Untersuchungen der Korrelation zwischen dem Gehalt an Spurenelementen und der Isotopenzusammensetzung der analysierten Bleisorten. In einem Falle hat sich die Hypothese, daß eine normale Bleisorte vom J-Typ sich als Mischblei zwischen einem radioaktiven Zerfallsblei und einem gewöhnlichen Blei darstellt, direkt beweisen lassen. Es handelt sich hier um ein Blei-Chlorid, das an den Fumarolen des Vesuvs als Sublimationsprodukt entsteht. Seiner Isotopenzusammensetzung nach erscheint dieses Blei als leicht anomal mit dem Wert $\mu = 9{,}55$ und einem Modellalter p von -200 Ma, doch hat sich dieses Blei als stark radioaktiv erwiesen. Es enthält bei seiner Entstehung eine gewisse Menge des radioaktiven Blei-Isotops Pb^{210}, das mit dem RaD der Uran-Radium-Reihe von 22 Jahren Halbwertszeit identisch ist und seinen Folgeprodukten RaE und Polonium. Durch Messung seiner spezifischen Aktivität ließ sich feststellen, daß der μ-Wert des Magmas, aus dem die Fumarolen entstehen, etwa $\mu = 110$ ist. Es liegt also hier offensichtlich ein Mischblei vor von etwa 99% gewöhnlichen Bleis und 1% eines Zerfallbleis einer relativ zum Blei an Uran angereicherten Komponente, das im Magma des Vesuvs enthalten ist und dessen Maximalalter sich sogar zu etwa 15 Ma angeben läßt. Man kann cum grano salis dies als einen Wert für das Maximalalter des Vulkans auffassen. Es ist übrigens bemerkenswert, daß in den letzten 150 Jahren die spezifische Aktivität des Bleis aus diesem durch Sublimation entstehenden Blei-Chlorid, das den mineralogischen Namen Cotunnit führt, ziemlich konstant geblieben ist. Dies wurde an zahlreichen Proben, die wir Professor SCHERILLO und Professor PARASCANDOLA verdanken, erwiesen, mit Entstehungszeitpunkt zwischen 1822 und 1956; dabei zeigt sich freilich eine interessante Ausnahme. Nach dem Ausbruch von 1906 zeigt die spezifische Aktivität des Cotunnitbleis einen Abfall auf etwa 23%, die 1911 (an zwei Proben des gleichen Jahres) auf etwa 33 bzw. 71% des Normalwertes wieder angestiegen war. Auch im Sommer des Jahres 1955 war ein Abfall der spezifischen Aktivität um etwa 10 bis 15% bemerkbar, der sich auch in diesem Jahre fortgesetzt hat. Wir haben hier ein schönes Beispiel dafür vor uns, wie das Studium des Gehaltes eines natürlichen Minerals an einem radioaktiven Isotop uns Rückschlüsse über Vorgänge in der Tiefe eines Vulkans erlaubt, die uns auf anderm Wege nicht zugänglich sind. Wir sind überzeugt, daß ein systematisches Verfolgen des RaD-Gehaltes der Sublimationsprodukte vulkanischer Fumarolen oder heißer Quellen, sofern diese Blei enthalten, Zusammenhänge zwischen der Isotopenzusammensetzung und der vulkanischen Aktivität wird erkennen lassen.

Es ist nun interessant, die oben angeführte Berechnung des Alters der Erde auf Grund des Modells für die Entwicklung der Isotopieverhältnisse in terrestrischem Blei mit entsprechenden Altersbestimmungen an Meteoriten zu vergleichen. Für Eisenmeteoriten haben wir wegen ihres sehr geringen Gehaltes an Uran und Thorium keinerlei sichere Altersbestimmungen. Ältere Messungen von PANETH und seinen Mitarbeitern aus dem He-Gehalt der Eisenmeteorite und einem Gehalt von U von etwa $4 \cdot 10^{-8}$ gU/g und Th von etwa $1{,}5 \cdot 10^{-7}$ g Th/g, die zu Alterswerten bis zu $7 \cdot 10^{9}$ Jahren geführt hatten, sind heute mit Sicherheit durch die schönen Arbeiten von ihm selbst und seinen Mitarbeitern widerlegt. Es hat sich nämlich herausgestellt, daß das He der Eisenmeteorite, und zwar gerade bei denjenigen, die besonders hohe He-Gehalte zeigen, wie Mount Ayliff, seine Entstehung nicht dem radioaktiven Zerfall verdankt, sondern Kernverdampfungen durch Einwirkung der kosmischen Strahlung. Dies konnte dadurch bewiesen werden, daß dieses He einen Gehalt bis zu 30% an He^3 aufweist, das gleichfalls als Produkt von Kernverdampfungen, nicht aber beim α-Zerfall entsteht. Die Eisenmeteorite der PANETHschen Klasse II mit einem He^3/He^4-Verhältnis von 8 bis 15% lassen sich verstehen, wenn man ihnen ein Alter von der Größenordnung von einigen hundert Millionen Jahren zuschreibt, doch können diese Werte auch durch einen He-Verlust zu diesem Zeitpunkt erklärt werden. Die Situation hinsichtlich des Alters der Eisenmeteorite muß heute noch als völlig ungeklärt gelten, vor allem dadurch, daß eine neuerliche Urananalyse von Eisenmeteoriten nach der heute feinsten Analysenmethode, der Aktivierung in einem Uranreaktor, zu wesentlich niedrigeren Urangehalten geführt hat, als früher angenommen wurde [*19*].

Wesentlich besser steht es mit Altersbestimmungen an Steinmeteoriten. Die Arbeitsgruppe in Pasadena unter der Leitung von HARRISON BROWN hat Bleie aus den beiden Chondriten Forest City und Modoc isoliert und eine Isotopenanalyse der nur in Mikrogramm-Menge zugänglichen Bleimenge durchgeführt. Sie fanden Blei, das ungefähr in seiner Isotopenzusammensetzung terrestrischem rezentem Blei entspricht. Setzt man auch hier wieder das Blei der Eisenmeteoriten als „Urblei" voraus, so läßt sich aus dem Verhältnis Pb^{207}/Pb^{206} für die genannten Chondrite ein Alter berechnen, das ausgezeichnet mit dem oben abgeleiteten Erdalter übereinstimmt, nämlich $4{,}5 \cdot 10^{9}$ Jahre. Den gleichen Wert erhielten sie aus den Bleien des Achondriten Nuevo Laredo, das sich jedoch in seiner Isotopenzusammensetzung als ein Mischblei aus radiogenem Zerfallsblei und Urblei erweist. Das Zustandekommen eines derartig hohen Gehaltes an Zerfallsblei setzt voraus, daß der Uran- bzw. Thoriumgehalt dieses Achondriten während des größten Teils seiner Geschichte $0{,}214 \cdot 10^{-6}$ gU/g und $0{,}817 \cdot 10^{-6}$ gTh/g betragen haben sollte. Diese Werte erscheinen außerordentlich hoch für einen Steinmeteoriten, und es ist nicht bekannt, ob der tatsächlich gefundene Uran- und Thorium-Gehalt diesen Werten entspricht. An zwei Chondriten, darunter wieder Forest City, haben WASSERBURG und HAYDEN [*20*] Altersbestimmungen nach der A^{40}/K^{40}-Methode durchgeführt.

Tabelle 1. *Alterswerte für die Erde und für Meteoriten*

Gegenstand	Methode	Autoren	Alter in $10^9 a$	Bemerkungen	Benutzte Konstanten
Erdkruste	Bleimodell	Pa53a, Hou53	$4{,}5 \pm 0{,}3$		$T_{238} = 4{,}51 \cdot 10^9 a$ $T_{235} = 7{,}07 \cdot 10^9 a$
Forest City	Pb^{207}/Pb^{206}	Pa53, Pa55, Ti55	$4{,}53 \pm 0{,}3$	Chondrit	$T_{238} = 4{,}51 \cdot 10^9 a$ $T_{235} = 7{,}07 \cdot 10^9 a$
Modoc	Pb^{207}/Pb^{206}	Pa53, Pa55, Ti55	$4{,}60 \pm 0{,}3$	Chondrit	
Mittel Chondrite	Pb^{207}/Pb^{206}	Pa53, Pa55, Ti55	$4{,}57 \pm 0{,}3$		
Nuevo Laredo	Pb^{207}/Pb^{206}	Pa53, Pa55, Ti55	$4{,}46 \pm 0{,}3$	Achondrit	
Verschiedene Aerolite	A^{40}/K^{40}	Ge51	(0,5 bis 3) *)		$T_A = 1{,}26 \cdot 10^9 a$ $\lambda_{Ca}/\lambda_{Ca}$ 12,4 %
Forest City	A^{40}/K^{40}	Wa55	$4{,}67 \pm 0{,}2$	Chondrit	$T_A = 1{,}26 \cdot 10^9 a$ λ_A/λ_{Ca} 8,85 %
Beardsley I.	A^{40}/K^{40}	Wa55	$4{,}82 \pm 0{,}2$	Chondrit	
Akaba	A^{40}/K^{40}	Th55	3,8	Aerolit	$T_A = 1{,}26 \cdot 10^9 a$ $\lambda_A/\lambda_{Ca} = 12{,}5$ %
Brenham Township	A^{40}/K^{40}	Th55	3,5	Aerolit	
Monze	A^{40}/K^{40}	Th55	1,9	Aerolit	
Forest City	Sr^{87}/Rb^{87}	Sch56	$4{,}7 \pm 0{,}4$	Chondrit	$T = 4{,}9 \cdot 10^{10} a$

*) Ohne massenspektrometrische Analyse.

Das Ergebnis dieser Altersbestimmungen führte bei einem Alter von $(4{,}8 \pm 0{,}2) \cdot 10^9 a$ zu einer guten Übereinstimmung mit den Bleiwerten. Freilich hatten in einer früheren Arbeit GERLING und PAVLOVA an anderen Steinmeteoriten, gleichfalls mit der A/K-Methode, Alter zwischen 0,5 und $3 \cdot 10^9 a$ gefunden sowie THOMSON und MAYNE [*18*] Werte zwischen 1,8 und $3{,}6 \cdot 10^9 a$. Diese geringeren Alter liegen zum Teil daran, daß diese Autoren einen höheren Wert für das λ_A/λ_{Ca}-Verhältnis des K^{40}-Zerfalls benützt haben. Ob der Rest der Abweichungen auf tatsächliche Altersunterschiede oder auf Argonverluste im Material zurückzuführen sind, ist noch nicht abgeklärt.

Ganz analog wie sich aus der Differenz der Bleiisotope 207 und 206 zwischen den Bleien der Steinmeteorite und denen der Eisenmeteorite das Alter der ersteren hatte ermitteln lassen, konnte E. SCHUMACHER unter Anwendung der Rb^{87}/Sr^{87}-Methode das Alter des gleichen Chondrits Forest City bestimmen, für den die bereits erwähnten Altersangaben nach der Bleimethode sowie nach der K^{40}/A^{40}-Methode vorliegen. Das Verhältnis von (Sr^{87}/Sr) für das Ur-Strontium, das dem Urblei entspricht, ließ sich aus diesen Messungen extrapolieren und wurde experimentell verifiziert durch die massenspektrometrische Bestimmung einer Probe „Bustee" eines chondritischen Enstatit-Achondrits, der große Mengen CaS enthielt und daher eine starke Abreicherung der Alkalimetalle in diesem Material zeigt. Das darin gefundene Sr sollte deshalb kein radiogenes Sr^{87} enthalten. Danach kann das Verhältnis Sr^{87}/Sr für das Urstrontium zu $(6{,}740 \pm 0{,}02)$ % angenommen werden. Unter Benutzung des heute wahrscheinlichsten Wertes für die Halbwertszeit des Rb^{87} von $4{,}9 \cdot 10^9$ Jahren ergab Forest City einen Alterswert von $(4{,}7 \pm 0{,}4) \cdot 10^9$ Jahren. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über den Vergleich der nach verschiedenen Methoden bestimmten Alter von Meteoriten zusammen mit dem aus dem Blei-Entwicklungsmodell berechneten Alter der Erdkruste. Zu den Bestimmungen nach der K- und Sr-Methode ist zu sagen, daß heute noch eine gewisse Unsicherheit sowohl bezüglich des Verzweigungsverhältnisses beim K-Zerfall zum Argon und demjenigen zum Ca besteht, wie auch noch eine Unsicherheit von etwa 15 % für die Halbwertszeit des Rb^{87} besteht, die noch der Aufklärung bedarf.

Zwischen der Abschätzung des Alters der Erde und den radioaktiven Altersbestimmungen an Chondriten, insbesondere an Forest City, die nach der Bleimethode sowie der K/A- und Rb/Sr-Methode übereinstimmende Ergebnisse liefern, besteht vollständiger Einklang, der eigentlich besser ist, als man erwarten durfte. Es kann kaum mehr ein Zweifel darüber bestehen, daß diese Zahl den richtigen Zeitpunkt für die chemische Separation, die zur Entstehung der Steinmeteoriten geführt hat, wiedergibt. Es darf jedoch nicht verschwiegen werden, daß REASBECK und MAYNE nach der He-Methode für die Eisenphase der Pallasite wesentlich geringere Alter finden als für die Olivinphase. Auch diese Diskrepanz bedarf noch der Aufklärung.

Es ist interessant hervorzuheben, daß lange Zeit eine eklatante Diskrepanz zwischen den radioaktiven Angaben über das Alter der Erde und der aus dem HUBBLE-Effekt durch lineare Rückextrapolation der Expansion der Nebelflucht berechneten „Alter des Universums" bestand. Es hatte sich immer ergeben, daß die Erde älter war als das Alter des Universums, das von den Astronomen aus dem HUBBLE-Effekt berechnet worden war. In den letzten Jahren hat sich aber gezeigt, daß die HUBBLE-Konstante unter Benutzung eines Wertes für den Abstand des Andromeda-Nebels berechnet worden war, der sich neuerdings als falsch erwiesen hat. Statt des früheren Wertes von 1,5 bis 2 Milliarden Jahren für den reziproken Wert der HUBBLE-Konstante gibt BAADE heute einen revidierten Wert zwischen 4 und 6 Milliarden Jahren an. Es ist äußerst befriedigend, daß aus so verschiedenen Berechnungsmethoden sich ungefähr gleiche Alterswerte für unsere Welt ergeben.

Wir hatten eingangs eine Maximalabschätzung für das Alter der Elemententstehung u gegeben, die auf Werte von etwa 5 bis 6 Milliarden Jahre geführt hatte, während die Meteorite Werte für das Alter w der Phasenseparation irdischer und meteorischer Materie $w = 4{,}5$ Milliarden Jahre ergaben. Auch für die Differenz $(u - w)$ läßt sich ein Maximalwert angeben. HARRISON BROWN hat darauf aufmerksam gemacht, daß sich die Häufigkeit der Zerfallsprodukte ausgestorbener radioaktiver Isotope für eine solche Abschätzung ausgezeichnet eignet. Ein solches ausgestorbenes Isotop ist zweifellos das I^{129}, dessen Halbwertszeit von KATCOFF et al. zu $1{,}7 \cdot 10^7$ Jahre bestimmt worden ist. Nimmt man an, daß seine ursprüngliche Häufigkeit von der Größenordnung des I^{127} war, so müßte sich, wenn die Zeit von der Entstehung der Elemente bis zu demjenigen Zeitpunkt, in welchem Xenon nicht mehr aus der Atmosphäre entweichen konnte, kleiner oder von gleicher Größenordnung wie die Halbwertszeit des I^{129} war, dies in einer abnorm hohen Häufigkeit von dessen Zerfallsprodukt, dem Xenon 129, äußern. Eine abnorm hohe

Häufigkeit dieses Isotops liegt aber nach HARRISON BROWN und H. SÜSS [1] nicht vor, und danach läßt sich sagen, daß das Zeitintervall $(u-w) \geq 4 \cdot 10^8$ Jahre gewesen sein muß. WASSERBURG und HAYDEN haben einen Chondriten auf einen etwaigen Gehalt an Xe^{129} untersucht und finden für Meteoriten gleichfalls $(u-w) \geq 2-4 \cdot 10^8$ Jahre.

Eingangs war erwähnt worden, daß geothermische Rechnungen darauf schließen lassen, daß die radioaktiven Elemente unserer Erdkruste sich auf eine äußere Schicht von etwa granitischer Zusammensetzung von etwa 20 km Dicke beschränken müssen. Eine Nachprüfung dieser Berechnung ergibt sich aus dem Gehalt unserer Atmosphäre an A^{40}. Das Isotop A^{40} ist so anomal häufig, daß es mit Sicherheit als ein Zerfallsprodukt des K-Einfangs von K^{40} angesehen werden muß. In der Tat hatte schon 1937 v. WEIZSÄCKER [21] die Tatsache des dualen Zerfalls des K^{40} aus der anomalen Häufigkeit des A^{40} in der Atmosphäre vorausgesagt. Man kann nun fragen, aus welcher Schichtdicke eines Gesteins von etwa granitischer Zusammensetzung mit etwa 2,6% K-Gehalt das vorhandene A^{40} der Atmosphäre stammen muß. Derartige Rechnungen wurden unter Benutzung des damals angenommenen Alters von etwa 3 Milliarden Jahren für die Erdkruste von CHACKETT, RANKAMA und dem Verfasser durchgeführt [2], [9], [14]. Eine Revision dieser Rechnungen unter Annahme des jetzt wahrscheinlichen Alters der Erdkruste von 4,5 Milliarden Jahren und unter Annahme einer Halbwertszeit des K von $1{,}26 \cdot 10^9$ Jahren und eines Verzweigungsverhältnisses von 12,5% führt auf eine Schichtdicke derjenigen Granitdicke, die ihr A an die Atmosphäre abgegeben hat, von gleichfalls 20 km oder 5500 kg/cm² und steht in bester Übereinstimmung mit dem Wert, den BIRCH aus geothermischen Überlegungen erhält. Auch darin kann eine weitere Stütze für den angeführten Wert des Alters der Erdkruste gesehen werden.

Literatur

[1] BROWN, H.: Rare gases and the formation of the earth's atmosphere. In G. P. KUIPER (ed.), The Atmospheres of the Earth and Planets, rev. ed., 258—266. University of Chicago Press. — [2] CHACKETT, K. F.: Physic. Rev. 81, 1057 (1951). — [3] GEISS, J.: Z. Naturforsch. 9a, 218 (1954). — [4] GEISS, J., P. EBERHARDT, F. G. HOUTERMANS u. P. SIGNER: Internat. Geologenkongr. Mexiko, September 1956. — [5] GERLING, S. K.: Dokl. Akad. Nauk SSSR 34, 282 (1942). — [6] GERLING, S. K., i T. G. PAVLOVA: Dokl. Akad. Nauk SSSR. 76, 85 (1951). — [7] HOLMES, A.: Nature [London] a) 157, 680 (1946); b) 159, 127 (1947); c) 163, 453 (1949). — [8] HOUTERMANS, F. G.: a) Naturwiss. 33, 185 (1946). — b) Z. Naturforsch. 2a, 322 (1947). — c) Nuovo Cimento 10, 1623 (1953). — [9] HOUTERMANS, F. G., O. HAXEL u. J. HEINTZE: Z. Physik 128, 657 (1950). — [10] NIER, A. O.: J. Amer. Chem. Soc. 60, 1571 (1938). — [11] PATTERSON, C.: Proceedings of the Conference on Nuclear Processes in Geologic Settings, 36. New York: J. Wiley & Sons 1950. Wisconsin: Williams Bay 1953. — [12] PATTERSON, C., G. TILTON, M. INGHRAM and H. BROWN: a) Physic. Rev. 92, 1234 (1953). — b) FAUL, H.: Nuclear Geology. New York: John Wiley & Sons 1954. — [13] PATTERSON, C., G. TILTON and M. INGHRAM: Science [Lancaster, Pa.] 121, 69 (1955). — [14] RANKAMA, K.: Isotope Geology, p. 293. London: Pergamon Press 1954. — [15] SUESS, H.: Experientia [Basel] 5, 266 (1949). — [16] SUESS, H., and H. C. UREY: Rev. Mod. Physics 28, 53 (1956). — [17] SCHUMACHER, E.: Z. Naturforsch. 11a, 206 (1956). — [18] THOMSON, S. J., u. K. J. MAYNE: Geochim. Cosmochim. Acta 7, 169 (1955). — [19] TURKEVICH, A.: Private Mitteilung. — [20] WASSERBURG, G. J., and R. J. HAYDEN: Physic. Rev. 97, 86 (1955). — [21] WEIZSÄCKER, v.: Physik. Z. 38, 623 (1937).

Physikalisches Institut der Universität, Bern

Eingegangen am 25. Oktober 1956

Geologische und archäologische Datierungen mit C^{14}

Von O. HAXEL, Heidelberg

Einleitung

Wenn man von natürlich radioaktiven Elementen spricht, denkt man im allgemeinen nur an Uran und Thorium und deren Folgeprodukte und an einige wenige andere radioaktive Substanzen, die uns ebenfalls dank ihrer langen Halbwertszeit bis auf den heutigen Tag erhalten geblieben sind. Strenggenommen gehören zu den natürlich radioaktiven Substanzen auch einige kurzlebige wie H^3, C^{14}, Be^7 und wahrscheinlich noch mehrere bisher nicht bekanntgewordene Radionuklide, die laufend von der Höhenstrahlung neu produziert werden. Wie man mit langlebigen radioaktiven Elementen Altersbestimmungen durchführt, wurde in einem früheren Vortrag gezeigt. Die hierbei zur Sprache gekommene Uran-Blei-Methode eignet sich für sehr große Zeiträume, die vergleichbar mit der Lebensdauer des Urans sind. Sie versagt aber für Zeiträume kleiner als 1 Million Jahre. Glücklicherweise können, wie W. F. LIBBY [1] gezeigt hat, auch mit den kurzlebigen Produkten, insbesondere mit C^{14}, von dem im folgenden nur noch die Rede sein soll, Altersbestimmungen durchgeführt werden, wodurch die Zeitspanne von etwa 100 bis zu 30000 bis 40000 Jahren der Datierung zugänglich gemacht wird.

Die Entstehung des C^{14}

Der radioaktive Kohlenstoff C^{14} wird durch die Neutronen der kosmischen Höhenstrahlung produziert. Diese Tag und Nacht mit praktisch gleichbleibender Intensität auf unsere Erde einfallende Strahlung besteht aus extrem energiereichen Partikeln, hauptsächlich Protonen und einigen schwereren Atomkernen, die beim Eindringen in die Atmosphäre aus den Sauerstoff- und Stickstoffkernen Protonen und Neutronen herausschlagen. Diese sekundären Protonen und Neutronen können, wenn sie energiereich genug sind, ihrerseits wieder neue Neutronen aus Kernen erzeugen, bis auf diese Weise die primäre Energie so weit verzettelt ist, daß weitere Neutronenbefreiungen nicht mehr möglich sind. Aus der Physik der Höhenstrahlung weiß man, daß auf diesem Wege etwa 2,6 Neutronen pro sec und cm² Erdoberfläche entstehen. Die so entstandenen Neutronen werden, nachdem sie durch Zusammenstöße mit den Atomkernen verlangsamt wurden, praktisch alle vom Stickstoff N^{14} eingefangen, wobei die exotherme Reaktion $N^{14} + n = C^{14} + H^1$ abläuft. Die entstandenen C^{14}-Atome werden innerhalb kurzer Zeit durch bisher noch nicht in allen Einzelheiten aufgeklärte chemische

Reaktionen zu $C^{14}O_2$ aufoxydiert, so daß wir für jedes entstandene Neutron eine $C^{14}O_2$-Molekel erhalten, das sind also 2,6 $C^{14}O_2$-Molekeln pro sec und pro cm^2 Erdoberfläche.

Das C^{14}-Reservoir

Das durch die Höhenstrahlung gebildete Kohlenstoffisotop C^{14} ist radioaktiv und zerfällt mit einer Halbwertszeit von 5568 ± 50 Jahren, die man aus Laboratoriumsversuchen gut kennt, in N^{14}, also das

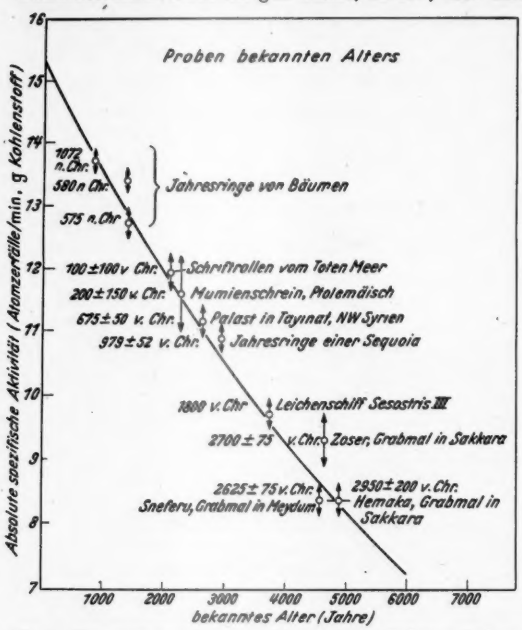


Fig. 1. Messungen von LIBBY an historisch gut datierten Proben. Die spezifische Aktivität des Kohlenstoffs (Ordinate) einer organischen Substanz nimmt mit deren Alter (Abszisse) nach dem Gesetz des radioaktiven Zerfalls (ausgezogene Kurve) ab. Eine genaue Beschreibung der Proben findet man bei W. F. LIBBY, Radiocarbon Dating, 2. Aufl. Chicago 1955. University Press

Element, aus dem es durch Neutroneneinfang entstanden ist. Durch diesen radioaktiven Zerfall ist dafür gesorgt, daß trotz der dauernden Neubildung der Weltvorrat an C^{14} konstant bleibt, da Neubildung und radioaktiver Zerfall sich die Waage halten. Aus der Neubildungsrate bzw. der ebenso großen Zerfallsrate und der bekannten Halbwertszeit kann man denWeltvorrat an C^{14} leicht ermitteln. Er beträgt 80 t C^{14} für die gesamte Erde oder, in den in der Radioaktivität üblichen Einheiten ausgedrückt: 365 Millionen Curie. Wenn wir wissen wollen, wie groß die Konzentration des C^{14} im normalen Kohlenstoff ist, müssen wir uns die Frage stellen, wo sich der Kohlenstoff C^{14} aufhält und mit welcher Menge inaktiven Kohlenstoffs C^{12} er dabei vermengt ist. Der Kohlenstoffvorrat der Atmosphäre, an den man zunächst denkt, ist keineswegs das einzige Kohlenstoffreservoir, in dem sich unser C^{14} aufhält. Durch die Assimilation des $C^{14}O_2$ kommt er in die organische Substanz der Pflanzen und von da in die der Tiere und Menschen. Der Humus des Bodens enthält C^{14} und selbst das Grundwasser nimmt die durch die Verrottung der organischen Substanzen entstandene Kohlensäure mit sich. Der größte Teil des $C^{14}O_2$ befindet sich jedoch im Meerwasser, da CO_2 in Wasser löslich ist. Ein kleiner Teil ist auch hier wieder an Lebewesen, hauptsächlich an Kleinlebewesen gebunden, das meiste CO_2 und damit das C^{14} ist jedoch gelöst bzw. an gelöstes Karbonat gebunden. Mit derjenigen Genauigkeit, mit der man geochemische Abschätzungen machen kann, läßt sich sagen, daß sich etwa 2% des C^{14} in der Atmosphäre befinden, ebensoviel in der Biosphäre des Landes, etwa 7% in der Biosphäre des Meeres und der Rest, nämlich 89% in anorganischer Form im Meer gelöst. Rechnet man mit diesem Kohlenstoffreservoir und der oben angegebenen Gesamtmenge C^{14}, so erhält man eine Konzentration von einem radioaktiven C^{14}-Atom auf 10^{12} stabile C^{12}-Atome. Dieser Wert paßt sehr gut zu dem gemessenen Wert der spezifischen Radioaktivität des organischen Kohlenstoffs, nämlich 15 radioaktive Zerfälle pro g Kohlenstoff und pro Minute. Im Jahre 1946 gelang LIBBY der Nachweis der Radioaktivität des Kohlenstoffs organischen Ursprungs und damit der Nachweis des C^{14} im CO_2 der Atmosphäre und der mit ihr im Austausch befindlichen organischen Substanz. Den Kläranlagen von Baltimore kommt das Verdienst zu, daß sie LIBBY das Methan geliefert haben, an dem er diese Untersuchungen durchführte.

Die Datierungsmethode

Der Kohlenstoff der organischen Welt stammt ausschließlich aus dem Assimilationsprozeß der Pflanzen, bei dem die Pflanzen den für ihren Aufbau nötigen Kohlenstoff aus dem atmosphärischen CO_2 beziehen. Da die pflanzliche Substanz der Tierwelt als Nahrung dient, enthält der Kohlenstoff der gesamten lebendigen Welt denselben Prozentsatz des radioaktiven Kohlenstoffs wie die Atmosphäre, wenn man von dem minimalen und für das folgende unwesentlichen Isotopentrenneffekt beim Einbau des Kohlenstoffs C^{14} in die organische Substanz absieht. Stirbt jedoch ein Lebewesen — beispielsweise ein Baum — ab, so nimmt er keinen neuen Kohlenstoff und damit kein C^{14} mehr auf; die in dem Baum vorhandene C^{14}-Menge und damit die spezifische Aktivität des Kohlenstoffs nimmt daher infolge des radioaktiven Zerfalls mit der Halbwertszeit des C^{14}, das sind 5568 Jahre, ab.

Das Prinzip der Altersbestimmung mit C^{14} ist daher denkbar einfach: Man bestimmt die spezifische Aktivität einer rezenten Substanz, sodann die spezifische Aktivität der zu datierenden Substanz und berechnet daraus mit der bekannten Halbwertszeit das Alter. Fig. 1 zeigt die ersten Messungen dieser Art, die W. F. LIBBY an historisch gut datierten Proben vorgenommen hat. Auf der Ordinate ist die gemessene spezifische Aktivität aufgetragen, auf der Abszisse das bekannte Alter. Die eingezeichnete Kurve ist die Abfallskurve des C^{14}. Die vertikalen Striche durch jeden Meßpunkt geben die mittleren Meßfehler an. Wie man sieht, gruppieren sich die einzelnen Meßpunkte erfreulich gut um die theoretische Kurve, so daß man allen Grund hat, der Methode zu trauen. Die meisten Proben sind ägyptischen Ursprungs. Interessant sind auch die Messungen an Jahresringen von Bäumen (Sequoia). Ein Baum lebt jeweils nur in der äußersten Schicht unter der Rinde. Die tiefer liegenden Schichten dienen nur noch als Stützgerüst und tauschen ihre Substanzen nicht mehr mit neuen Assimilationsprodukten aus. Sie sind also in unserem Sinne tot. Diese von den Biologen schon immer vertretene Ansicht wird durch die C^{14}-Messungen bestens bestätigt.

Die in Fig. 1 dargestellten Messungen zeigen, daß die C^{14}-Methode für die letzten 5000 Jahre anwendbar ist. Wir müssen uns fragen, welche Voraussetzungen erfüllt sein müssen, damit wir mit dieser Methode tiefer in die Vergangenheit vordringen können, wo eine direkte Kontrolle durch historische Datierungen nicht mehr möglich ist. Eine selbstverständliche Voraussetzung ist, daß der Kohlenstoff in der zu untersuchenden Probe noch der ursprüngliche ist und nicht später ausgetauscht oder eingeschleppt wurde. Soviel wir heute übersehen können, dürfen wir damit rechnen, daß bei Holz und Holzkohle, wenn eingedrungene Karbonate durch Kochen in Säure entfernt wurden, der ursprüngliche Kohlenstoff noch vorhanden ist. Nicht so klar liegen die Dinge bei Knochen. Hier scheint ein Austausch in der Regel vorzuliegen, unter Umständen sogar bei der organischen Substanz des Knochens. Man wird daher bei der Wahl der zu datierenden Objekte sehr vorsichtig sein müssen; insbesondere bei Museumsstücken ist immer mit einer Verfälschung durch Konservierungsmittel zu rechnen (Paraffin, Schellack).

Eine weitere Voraussetzung für die Richtigkeit aller C^{14}-Datierungen ist die, daß der C^{14}-Gehalt der Atmosphäre in der Vergangenheit ebenso groß war, wie er heute ist, d.h., es muß nicht nur die C^{14}-Produktion und damit die Höhenstrahlintensität in der Vergangenheit ebenso groß gewesen sein wie heute, sondern auch die Größe des Reservoirs. Wir haben zwar keinen Grund, an der Konstanz dieser beiden Größen zu zweifeln; wir haben aber auch keine sicheren Hinweise dafür, daß sie konstant waren. Die Höhenstrahlintensität hat sich in den letzten Jahrzehnten nicht meßbar geändert, wenn man von kurzzeitigen Schwankungen, die nichts Wesentliches zur Gesamtmenge des C^{14} beitragen, absieht. Das Haupt-CO_2-Reservoir ist das Meer. In der Eiszeit war der Meeresspiegel erheblich niedriger, das Reservoir deshalb kleiner. Dafür war aber die Temperatur niedriger und damit die Löslichkeit des CO_2 in Wasser größer. Es ist schwer, die Größe dieser Einflüsse gegeneinander abzuschätzen. Glücklicherweise kann eine auch noch so große Änderung der C^{14}-Konzentration in der Vergangenheit die zeitliche Reihenfolge von Ereignissen niemals umkehren. Es würde nur, wenn die C^{14}-Konzentration früher größer gewesen wäre als heute, eine Pressung der C^{14}-Zeitskala gegenüber der wirklichen eintreten und entsprechend im umgekehrten Fall eine Streckung.

Die Fehler und Grenzen der Altersbestimmung

Jede Messung der spezifischen Aktivität ist mit einem Meßfehler behaftet, der im wesentlichen daher rührt, daß man nur eine endliche Anzahl von radioaktiven Zerfällen auszählen kann und jede solche Zählung daher mit einem statistischen Fehler behaftet ist. Im Prinzip könnte man diesen Fehler, wenn man beliebige Substanzmengen zur Verfügung hätte und beliebig lange Meßzeiten zulassen könnte, beliebig klein machen. Praktisch ist aber die verfügbare Substanzmenge begrenzt. In der Regel stehen nur einige Gramm zur Verfügung; auch die Meßzeit kann man nicht wesentlich über 24 Std ausdehnen, was einen Fehler von etwa 1% für die Bestimmung der spezifischen Aktivität mit sich bringt. Dieser Fehler entspricht einer Zeitunschärfe von ± 80 Jahren für ein rezentes Material. Für ein Material, dessen Alter einer Halbwertszeit also rund 5600 Jahren entspricht, verdoppelt sich der Fehler auf ± 160 Jahre. Eine weitere Verdopplung des Zeitfehlers auf 320 Jahre ergibt sich für ein Alter von zwei Halbwertszeiten, also für 11 200 Jahre usw. Bei einem Alter von 40000 Jahren und mehr wird schließlich der Fehler der Zeitangabe vergleichbar mit dem Alter selbst, so daß hier die Angabe von Zeitintervallen sinnlos wird und man nur noch die Aussage machen kann: älter als ...

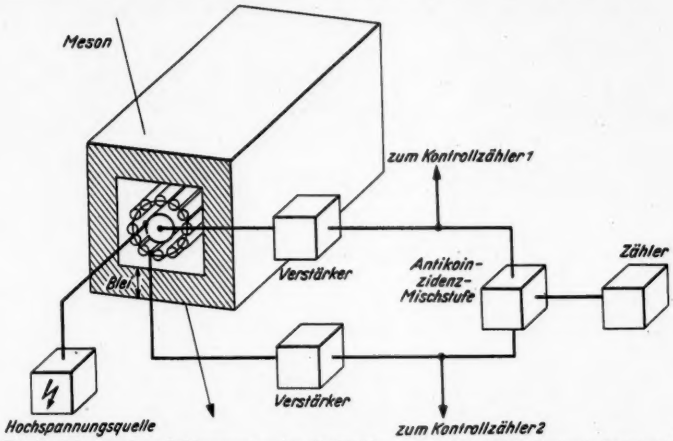


Fig. 2. Schema einer Zählapparatur für die C^{14}-Messungen. Das C^{14}-Zählrohr befindet sich zentral in einem allseitig geschlossenen Bleigehäuse, das die Umgebungsstrahlung abschirmt. Der zu untersuchende Kohlenstoff wird als CO_2-Gas in den C^{14}-Zähler gebracht. Die von den radioaktiven Zerfällen des C^{14} herrührenden Impulse werden im Zähler registriert. Die Antikoinzidenz-Mischstufe sorgt dafür, daß die durchdringenden Höhenstrahlteilchen (Mesonen), die den Kranz von Antikoinzidenzzählrohren durchsetzen, von der Registrierung ausgeschlossen werden. Die Hochspannungsquelle liefert die Betriebsspannungen für die Zählrohre

Es wäre beim gegenwärtigen Stand der Technik wenig sinnvoll, wollte man den Bereich der C^{14}-Datierung über 40000 bis 50000 Jahre dadurch ausdehnen, daß man durch Verwendung von größeren Substanzmengen und längeren Meßzeiten den Fehler der Aktivitätsbestimmungen unter 1% drückt; denn durch eine unkontrollierbare Einschleppung von rezentem Kohlenstoff oder einer nicht erkennbaren anderen Aktivität wird man immer mit Fehlern dieser Größe zu rechnen haben.

Meßtechnik

So einfach das Prinzip der C^{14}-Datierung ist, so diffizil ist die Meßmethodik wegen der geringen spezifischen Aktivität des Kohlenstoffs und der geringen Durchdringungsfähigkeit der beim Zerfall entstehenden β-Strahlen. Für die Messung wird der zu untersuchende Kohlenstoff entweder in fester Form auf die Innenwand eines Zählrohres gebracht oder in Gasform (CO_2, C_2H_2, CH_4) als Zählgas in einem Zählrohr verwendet. Ohne besondere Maßnahmen ist die Ausschlagszahl eines Zählers, hervorgerufen durch die

Umgebungsstrahlung und durch die Höhenstrahlung, mehr als 100mal größer als die Ausschlagszahl, die von der Aktivität selbst des rezenten Kohlenstoffs kommt.

Durch einen 10 bis 15 cm dicken Bleipanzer oder einen entsprechend dickeren Eisenpanzer muß daher zunächst die Umgebungsstrahlung weitgehend herabgedrückt werden. Die Höhenstrahlung, die durch diesen Panzer nur wenig geschwächt wird, kann durch Antikoinzidenzzählrohre eliminiert werden. Dazu wird, wie Fig. 2 zeigt, das zentrale Zählrohr, in dem sich der auszumessende Kohlenstoff befindet, von einem Kranz von Zählrohren umgeben. Trifft ein durchdringendes Höhenstrahlteilchen, beispielsweise ein Meson, das zentrale Zählrohr, so muß es auch ein oder zwei Zählrohre des Zählrohrkranzes getroffen haben. Die Impulse des zentralen Zählrohres und des Zählrohrkranzes werden über Verstärker einer Antikoinzidenzmischstufe zugeführt, die dafür sorgt, daß nur solche Impulse des zentralen Zählrohres, in dem sich das C^{14} befindet, an das mechanische Zählwerk weitergegeben werden, die nicht von einem Impuls des Zählrohrkranzes begleitet sind. Durch diese Maßnahme läßt sich erreichen, daß in dem mechanischen Zähler im wesentlichen nur die Impulse registriert werden, die von dem Zerfall des C^{14} kommen, und daß der Beitrag der Umgebungsstrahlung und der Höhenstrahlung auf ein tragbares Maß herabgedrückt wird. Es ist gelungen, diesen Beitrag auf 10% des C^{14}-Effektes herabzudrücken. Für genaue Messungen ist es zwar wichtig, daß dieser Beitrag klein ist, aber noch wichtiger ist es, daß er sich während einer Messung nicht ändert. Deshalb muß durch eine größere Zahl von Kontrolleinrichtungen das einwandfreie Arbeiten aller Teile und die Konstanz der Umgebungs- und Höhenstrahlung laufend überwacht werden.

Die chemische Aufbereitung der Proben

Die auf LIBBY zurückgehende Methode der Aufbereitung von Proben, die auch heute noch mit kleinen Abwandlungen gebraucht wird, hat vor allem den Zweck, die zu untersuchenden Substanzen von der natürlichen Radioaktivität zu befreien. Dazu wird die organische Substanz (Holz, Torf, Holzkohle usw.) zunächst verbrannt, bei Karbonat, Muschelschalen usw. das CO_2 durch Säure ausgetrieben. Die Kohlensäure wird dann wieder in Karbonat übergeführt, dieses wird gut gewaschen und dann entweder zu elementarem Kohlenstoff verarbeitet oder zu CO_2 bzw. C_2H_2. Chemisch am einfachsten ist die Aufbereitung zu reinem CO_2. Die Zahl der Schritte und damit die Gefahr einer radioaktiven Einschleppung ist hier am geringsten. CO_2 hat jedoch als Zählgas einige unangenehme Eigenschaften, was die erforderliche Elektronik etwas kompliziert. Fester Kohlenstoff, auf die Wand des Zählrohrs aufgebracht, oder C_2H_2 als Zählgas erfordern keine spezielle Elektronik, ihre Herstellung erfordert aber einige chemische Arbeitsgänge mehr, deshalb wird der letztere Weg meist von Chemikern, der erstere von den Physikern bevorzugt. Die meisten C^{14}-Laboratorien untersuchen heute den Kohlenstoff in Gasform, da die gasförmigen Proben leichter auszuwechseln sind, während bei Verwendung von festem Kohlenstoff bei jedem Probenwechsel das Zählrohr geöffnet werden muß, wobei leicht eine unkontrollierbare Einschleppung von Radioaktivität auftreten kann. Die Aufbereitungsmethode für CO_2 und für C_2H_2, die am meisten benutzten Substanzen, sind in Fig. 3 skizziert.

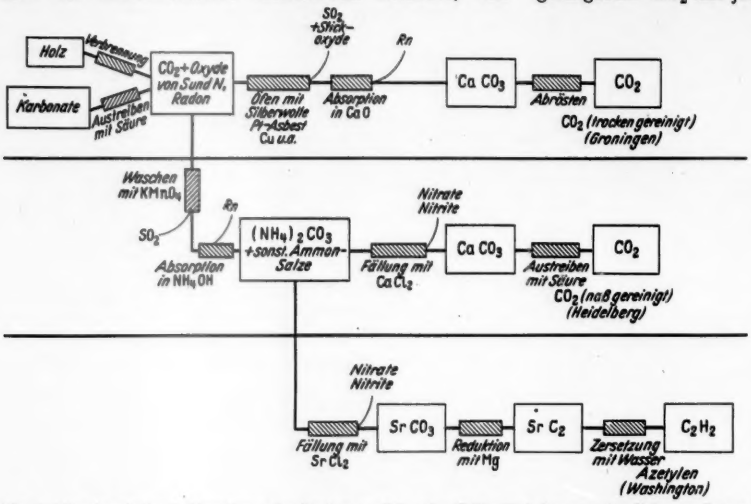


Fig. 3. Die chemische Aufbereitung der Proben zu CO_2 oder C_2H_2. Bei der ursprünglich von LIBBY angegebenen Methode, die hier nicht aufgeführt ist, wurde das gereinigte CO_2 durch metallisches Magnesium zu elementarem Kohlenstoff reduziert. Die Auszählung der radioaktiven Zerfälle des Kohlenstoffs in Gasform bringt technisch Vorteile gegenüber der Auszählung des festen Kohlenstoffs

Datierungsergebnisse

Bis heute wurden schätzungsweise etwa 2000 Proben mit der C^{14}-Methode datiert, über die Hälfte davon durch LIBBY und seine Mitarbeiter. Zur Zeit sind neben der Libbyschen Apparatur in einigen Ländern zusätzliche Apparaturen im Aufbau begriffen und zum Teil schon in Funktion. Auch in Deutschland haben wir eine Station, die vor einigen Jahren von meinem Mitarbeiter MÜNNICH in Heidelberg aufgebaut wurde und mit der er schon über 100 interessante Datierungen durchgeführt hat. Am fruchtbarsten ist die C^{14}-Methode in dem Zeitintervall 10000 bis 20000 Jahre, da hier die relative Genauigkeit der Zeitbestimmung am größten ist. Es ist dies in unserem Lande der Ausläufer der letzten Eiszeit mit seinen äußerst interessanten geologischen und besiedelungsgeschichtlichen Problemen. Ich will von einigen Datierungen sprechen, die in den Zeitabschnitt fallen, der in der Tabelle 1 mit dem Sammelnamen „Späteiszeit" bezeichnet ist. Wir haben hier die jüngere Tundrenzeit, eine Kälteperiode, die auf eine wärmere Zeit, die Alleröd-periode folgt; die davor liegende ältere Tundrenzeit ist wahrscheinlich noch durch eine kleinere Wärmeperiode, die sog. Böllingschwankung, unterbrochen. Die noch weiter zurückliegende glaziale Zeit ist für die C^{14}-Datierung noch nicht richtig erschlossen, da es in dieser Zeit wahrscheinlich noch nicht einmal in

Süddeutschland Wald gab und daher für diese Zeit noch nicht genügend gutes Material für die C^{14}-Datierung zur Verfügung steht.

Die Späteiszeit ist für die C^{14}-Datierung dadurch äußerst interessant, daß die Paläobotaniker zusammen mit den Geologen für sie bereits einen Zeitmaßstab haben, der sich auf die Schichtenzählung (Warwenzählung) an Bändertonen, das sind die Jahresschichten der Gletscherablagerungen, die an manchen Stellen in Skandinavien zu finden sind, stützt. Naturgemäß findet man an einer Fundstelle nur immer die Ablagerung eines begrenzten Zeitintervalls und muß dann andere Fundstellen anschließen. Eine wichtige Hilfestellung hierbei liefert die Pollenanalyse, denn Hand in Hand mit der Temperaturschwankung in der Späteiszeit ging jeweils eine Änderung der Zusammensetzung der Vegetation. Die Pollen dieser Vegetationen sind an manchen Stellen so gut konserviert worden, daß sie heute noch diagnostiziert werden können. Die Datierung mit Hilfe der Pollenanalyse und Warwenzählung ist in sich weitgehend widerspruchsfrei, was für ihre Richtigkeit spricht, aber eine Bestätigung durch eine andere Methode war doch sehr erwünscht. Diese Bestätigung brachte die C^{14}-Datierung.

Tabelle 1 *). *Die Einordnung der Waldgeschichte in die Spät- und Nacheiszeit Mitteleuropas*

Wahrscheinliche Zeitgrenzen	Zeitabschnitte (klimatisch und Namen nach BLYTT-SERNANDER)		Waldentwicklung in Mitteleuropa	Vorgeschichtliche Zeitabschnitte	Entwicklung der Ostsee und Rückzug des Inlandeises
Gegenwart	Nacheiszeit	Nachwärmezeit (Subatlantikum)	Wirtschaftsforste Buchenzeit	Geschichtliche Zeit La Tène-Zeit	Mya-Meer
etwa 800—500 v. Chr.		(Klimaverschlechterung!) Späte Wärmezeit (Subboreal)	Übergang von der Eichenmischwald- zur Buchenzeit	Bronzezeit	Limnäa-Meer
etwa 2500 v. Chr.		Mittlere Wärmezeit (Atlantikum)	Eichenmischwaldzeit	Neolithische Zeit	Litorina-Meer
etwa 5000 v. Chr.		Frühe Wärmezeit (Boreal)	Haselzeit und frühe Eichenmischwaldzeit	Mesolithische Zeit	Ancylus-See (letzte Eisreste schmelzen)
etwa 8000 v. Chr.		Vorwärmezeit	Birken- und Kiefernzeit		Yoldia-Meer
	Späteiszeit	Jüngere Tundrenzeit	Waldarme Zeit		(Eisrand in Mittelschweden) Baltischer Eissee
		Allerödzeit	Birken- und Kiefernzeit	?	
		Ältere Tundrenzeit	Waldlose Zeit	Paläolithische Zeit (Magdalénien)	
etwa 18000 v. Chr.		Glaziale Zeit			Eisrand in Norddeutschland

Eine wichtige Zeitmarke in der Mitte der Alleröd-periode ist ein großer Ausbruch der Eifelvulkane (Laacher See), bei dem eine Flugascheschicht über große Gebiete Deutschlands verteilt wurde. Diese Flugascheschicht enthält keine organische Substanz und kann daher mit C^{14} nicht datiert werden; sie findet sich aber in einer großen Zahl von Mooren, so daß man die dicht darüber und darunter liegenden Torfschichten mit C^{14} datieren kann. Solche Datierungen wurden in verschiedenen Laboratorien, auch bei uns in Heidelberg, vorgenommen. Wir erhielten eine Probe, die uns Herr FIRBAS in Göttingen überließ, und haben für sie ein Alter von $11\,800 \pm 300$ Jahren in Übereinstimmung mit anderen Stationen und den Datierungen der Pollenanalytiker gefunden [2]. Durch systematische Untersuchungen an Torf haben wir uns vergewissert, daß Torf ein zuverlässiges Datierungsobjekt ist. Viele andere Proben, meist Hölzer, die pollenanalytisch gut datiert waren, ergaben mit der C^{14}- Methode eine Bestätigung der Altersbestimmungen der Pollenanalyse. Unter anderem zeigen die C^{14}-Messungen, daß die skandinavischen Eisbewegungen mit den südlichen Eisbewegungen synchron verlaufen sind, was man nach der pollenanalytischen Zeitbestimmung zwar vermuten, aber nicht mit Sicherheit beweisen konnte.

Von großem Interesse sind im Zusammenhang mit den Kälteperioden in Europa die Untersuchungen über die Eisbewegung in Nordamerika. Messungen von LIBBY und in neuerer Zeit von SUESS [3] in Washington brachten das Ergebnis, daß die Temperaturen in Europa und in den USA synchron verlaufen sein müssen. Die Eisbewegungen in Nordamerika scheinen jedoch ausgesprochener gewesen zu sein als in Europa, was, bevor man die C^{14}-Methode kannte, zu Fehlzuordnungen verführte. Erst die C^{14}-Methode hat durch ihre absolute Zeitskala die richtige Zuordnung der amerikanischen und europäischen Eisvorstöße und den Beweis für den Synchronismus der Eisbewegungen erbracht.

In diesem Zusammenhang sei auf sehr interessante Messungen der niederländischen Gruppe hingewiesen, die sich aus naheliegenden Gründen für die Hebung des Meeresspiegels in den vergangenen Jahrtausenden an der Nordseeküste interessierte. Während der Eiszeit lag der Meeresspiegel tiefer, da eine erhebliche Menge des Wasservorrates der Erde als Eis auf dem Kontinent lag. Nach Beobachtungen an Korallenriffen zu schließen, beträgt die Hebung etwa 80 bis 100 m. DE VRIES und BARENDSEN [4] haben in Zusammenarbeit mit VAN STRAATEN [5] Messungen an Torf und Muscheln gemacht, die sich entlang der ehemaligen Strandlinien fanden, die heute unter dem Meeresniveau liegen. Ihre Ergebnisse sind in Fig. 4 eingetragen, wo als Abszisse das gefundene C^{14}-Alter und als Ordinate die Zahl der Meter, die sich die Fundstelle heute unter dem Meeresspiegel befindet, aufgetragen sind. Die vollen und leeren Kreise (Torf bzw. Muscheln als untersuchte Objekte) geben die Messungen der Niederländer wieder. SHEPARD und SUESS [6] haben noch weitere Messungen an Proben aus verschiedenen Teilen der Welt eingetragen. Fig. 4 ergibt das Bild einer weltweiten Hebung des

*) Aus H. FITTING, W. SCHUMACHER, R. HARDER und F. FIRBAS: Lehrbuch der Botanik, 26. Aufl., Stuttgart: Gustav Fischer 1954.

Meeresspiegels, die in den letzten 10000 Jahren etwa 25 bis 30 m betragen haben dürfte. Der Verlauf der Hebung läßt zwanglos die Deutung zu, daß das

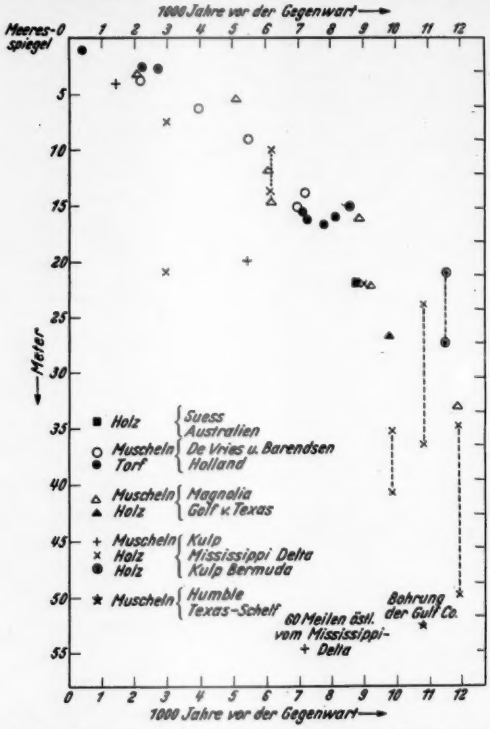


Fig. 4. Die Hebung des Meeresspiegels durch das Schmelzwasser der Nacheiszeit (Nach SUESS [3]). Auf der Ordinatenachse ist angegeben, wie tief die ehemalige Strandlinie unter dem heutigen Meeresspiegel liegt. Das Alter der Strandlinie wurde mit der C^{14}-Methode bestimmt. Hinter den Klammern ist der Name des Bearbeiters, darunter bzw. dahinter der Ort, an dem die Probe entnommen wurde, angegeben

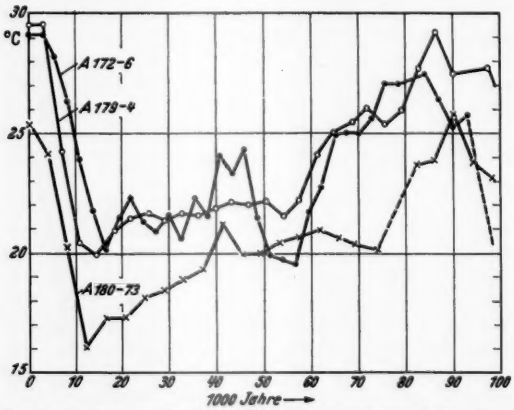


Fig. 5. An drei verschiedenen Tiefseebohrkernen wurde das Alter der Foraminiferen mit der C^{14}-Methode bestimmt und aus der Zusammensetzung der Sauerstoffisotope auf die Temperatur geschlossen, bei der die Foraminiferen lebten. Die Kurven geben den Verlauf der Oberflächentemperatur des Meereswassers in der Vergangenheit wieder. Das Alter wurde nur bis etwa 30000 Jahre mit der C^{14}-Methode bestimmt, höhere Werte wurden aus der Sedimentationsgeschwindigkeit extrapoliert. (Nach SUESS [3])

Ansteigen des Meeres durch Abschmelzen des Eisvorrates der Eiszeit entstanden ist, und zeigt für die Bewohner der Küste die beruhigende Tatsache, daß die Hebung in den letzten Jahrtausenden zum Stillstand gekommen ist. Am Rande erwähnt sei, daß in Skandinavien die Hebung des Meeresspiegels durch eine Hebung des Landes kompensiert wurde, sicherlich wegen der Entlastung durch das abgeschmolzene Eis.

Hält man den weltweiten Charakter der Eiszeit für gesichert, so gewinnen Messungen der Chicagoer Gruppe [7], die sich mit den Isotopentrenneffekten von Kohlenstoff und Sauerstoff beim Einbau in die lebende Substanz beschäftigen, einen besonderen Reiz. Die Chicagoer Forscher konnten zeigen, daß bei Sauerstoff ein gut meßbarer Trenneffekt existiert und daß seine Größe von der Temperatur abhängt, bei der das Lebewesen aufwächst. Die Kalkschalen der Foraminiferen zeigen diesen Effekt sehr ausgeprägt, so daß man aus der Messung des Isotopenverhältnisses von O^{18}/O^{16} Rückschlüsse auf die Temperatur, bei der sie gewachsen sind, ziehen kann. In Fig. 5 sind Messungen an einigen Tiefseebohrkernen wiedergegeben. Die dem gemessenen Isotopenverhältnis entsprechende Temperatur ist dabei als Funktion des Alters der Foraminiferen aufgetragen. Da die Foraminiferen einstens an der Meeresoberfläche gelebt haben, beziehen sich die Temperatur- und Altersangaben auf die Meeresoberfläche. Der übereinstimmende Verlauf der Temperatur mit dem gemessenen C^{14}-Alter an Bohrkernen ganz verschiedener Herkunft deutet auf einen systematischen Zusammenhang zwischen Oberflächentemperatur des Meerwassers und seinem Alter hin. Der Verlauf zeigt einen rapiden Anstieg um nahezu 10° C in den letzten 15000 Jahren, der, wenn alles so ist, wie man vermuten möchte, das Ende der letzten Eiszeit und damit unsere Wärmeperiode herbeigeführt hat.

In Heidelberg haben wir, d.h. hat Herr MÜNNICH sehr viel Zeit und Arbeit darauf verwandt, genau zu klären, ob und unter welchen Umständen auch Knochen zu Datierungen herangezogen werden können. Aus den waldarmen Kälteepochen sind uns gelegentlich Knochenreste von Lagern der eiszeitlichen Menschen überliefert, jedoch fast nahezu keine Hölzer. Die ersten Vorversuche haben wir an den in Heidelberg reichlich vorhandenen, historisch gut datierten Knochen aus den Abfallgruben der Küchen der römischen Feldlager gemacht, ohne daß dabei gravierende Unstimmigkeiten aufgetreten wären. Ernstliche Bedenken gegen die Verwendung von Knochen als Datierungsobjekte entstanden jedoch im Zusammenhang mit Untersuchungen an Geweihen von Rentieren aus der sog. Hamburger Kultur. Herr SCHWABEDISSEN hat uns mehrere Objekte aus den Grabungen von Herrn RUST überlassen. Zur Hamburger Kultur gehören zwei Rentierjägerlager, ein jüngeres bei Poggenwisch und ein älteres bei Meiendorf. Nach den pollenanalytischen Befunden gehören beide in die älteste Tundrenzeit und sollten älter sein als die Böllingschwankung [8]. Außer den Steinwerkzeugen findet man die Knochen einer größeren Zahl von Rentieren, die in den See versenkt wurden, möglicherweise als Opferhandlungen. Die C^{14}-Analyse der Geweihe verschiedener Laboratorien stimmten zwar untereinander gut überein, ergaben aber für die Meiendorfer Schichten, und deren Fundstücke ein wesentlich zu junges Alter. In der jüngeren Schicht (Poggenwisch) konnten sehr mühsam einige kleine Zweigchen gesammelt werden, deren C^{14}-Alter sehr gut zu den Fundschichten paßt.

Wie sehr C^{14}-Datierungen an Knochen verfälscht sein können, zeigte uns eine Datierung an einem Mammutknochen, der sich bei Ausschachtarbeiten auf dem Institutsgelände in Heidelberg fand. Sein wahres Alter liegt sicherlich über 15000 Jahre. Wir waren überrascht, daß die anorganische Fraktion, also der Kalk des Knochens, nur ein Alter von 3370 Jahren ergab; die organische Fraktion, im wesentlichen die Leimsubstanz des Knochens, ergab 7500 Jahre. Dieser Wert liegt etwas höher als der der anorganischen Fraktion, ist aber sicherlich immer noch viel zu niedrig. Knochen sind demnach bei den derzeitigen Aufbereitungsmethoden keine zuverlässigen Datierungsobjekte, da sie offensichtlich ihren Kohlenstoff austauschen. Daß sich die anorganische Substanz, also der Kalk austauscht, würde man von vornherein vermuten. Überraschend ist nur, daß man für den ausgetauschten Kalk ein so junges Alter bekommt. Das Rätsel löste sich, als wir das Alter des im Grundwasser gelösten Kalkes untersuchten [9] und dafür nur einige wenige tausend Jahre fanden. Der Grund liegt darin, daß die im Grundwasser gelöste Kohlensäure aus der Verrottung organischer Substanzen stammt, also rezent ist. Diese Kohlensäure löst den Kalk auf, so daß der gelöste Kalk relativ jung erscheint. Daß die anorganische Substanz von Knochen demnach falsche Werte ergeben muß, ist unvermeidlich. Die bisherigen Meßergebnisse zeigen darüber hinaus, daß auch die von uns durch Dialyse gewonnene organische Substanz fremden Kohlenstoff enthält. Was für Reaktionen sich hier im einzelnen abspielen, ist noch nicht geklärt. Mit Knochen wird man daher mit den bisher versuchten Aufbereitungsverfahren nur dann zuverlässige Altersbestimmungen machen können, wenn sie geschützt vor Wasser gelegen haben. Ein Kriterium dafür ist, daß die anorganische und die organische Fraktion dasselbe Alter ergeben.

Trotz der eben gemachten Einschränkungen eröffnet sich für die C^{14}-Methode der Altersbestimmungen in Geologie und Archäologie ein weites Betätigungsfeld. Es wird möglich sein, der Vorgeschichte ein absolutes Zeitgerüst zu geben. Man wird bei räumlich weit auseinanderliegenden Kulturen feststellen können, welches die ursprüngliche ist und in welcher Richtung sie sich ausgebreitet hat. Die Zahl der Datierungen ist heute noch viel zu klein, um jetzt schon ein geschlossenes Bild unserer Vor- und Frühgeschichte geben zu können. Auch wäre es von einem Physiker vermessen, wenn er dies tun wollte, denn er kann mit seiner Methode nur tote Jahreszahlen geben. Ein lebendiges Bild der Frühgeschichte unserer Vorfahren zu geben, bleibt nach wie vor dem Historiker vorbehalten.

Literatur

[1] LIBBY, W. F.: Radiocarbon Dating, 2. Aufl., Chicago: University Press 1955. — [2] FIRBAS, F.: Naturwiss. 40, 54 (1953). — Nachr. Akad. Wiss. Göttingen, Math.-naturwiss. Kl., biol. Abt. 5, 37 (1954). — [3] SUESS, H. E.: Science [Wash. D. C.] 123, 355 (1956). — [4] VRIES, HL. DE, and G. W. BARENDSEN: Nature [London] 174, 1138 (1954). — [5] STRAATEN, L. M. J. U. v.: Geologie en Mijnbouw, N.S. 16, 247 (1954). — [6] SHEPARD, F. P., and H. E. SUESS: Science [Wash. D. C.] 123, 1082 (1956). — Während der Drucklegung erschien eine zusammenfassende Darstellung von H. E. SUESS, in der diese Frage ausführlicher behandelt wird [Angew. Chem. 68, 540 (1957)]. — [7] EPSTEIN, S., R. BUCHSBAUM, H. LOWENSTAM and H. C. UREY: Bull. Geol. Soc. Amer. 62, 417 (1951); 64, 1315 (1953). — EMILIANI, C.: J. Geology 63, 538 (1955). — [8] FIRBAS, F., H. MÜLLER u. K. O. MÜNNICH: Naturwiss. 42, 509 (1955). — [9] MÜNNICH, K. O.: Naturwiss. 44, 32 (1957).

Heidelberg, II. Physikalisches Institut der Universität

Eingegangen am 13. Februar 1957

Isotope in der organischen Chemie*)

Von FRIEDRICH WEYGAND, Berlin-Charlottenburg

Das Arbeiten mit Isotopen als Hilfsmittel der naturwissenschaftlichen Forschung, insbesondere zur Lösung chemischer Fragestellungen, ist verhältnismäßig alt. Es sei hier nur an die klassischen Arbeiten von HEVESY und PANETH erinnert, die von 1913 ab die natürlich vorkommenden Bleiisotope verwendeten. Aber erst durch die Entdeckung der künstlichen Radioaktivität und den Bau von Cyclotrons, später durch die Entdeckung der Uranspaltung und die sich anschließende Konstruktion von Reaktoren mit ihrem bis dahin unbekannt hohen Neutronenfluß wurden die vom Chemiker benötigten radioaktiven Isotope in genügend großen Aktivitäten verfügbar, so daß das Arbeiten mit isotopenmarkierten Verbindungen ein blühender Zweig am Baume unserer Wissenschaft werden konnte. Parallel damit wurden wirksame Trennungsverfahren für die stabilen Isotope ausgearbeitet, und daher stehen von einigen Elementen jetzt auch die stark angereicherten stabilen Isotope in genügender Menge zur Verfügung. Dies ist von besonderer Bedeutung beim *Stickstoff* und beim *Sauerstoff*, da es von diesen Elementen keine radioaktiven Isotope gibt, die eine für das praktische Arbeiten genügend lange Halbwertszeit besitzen.

Soll eine bestimmte, geeignete Problemstellung mit Hilfe von Isotopen bearbeitet werden, so erhebt sich zunächst die Frage, ob stabile oder radioaktive Isotope verwandt werden sollen. Wie schon erwähnt wurde, steht man beim Stickstoff und beim Sauerstoff nicht vor dieser Entscheidung. Anders liegen die Verhältnisse beim Wasserstoff und beim Grundelement der organischen Chemie, dem Kohlenstoff. Beim Wasserstoff kennen wir außer dem gewöhnlichen ^{1}H noch das stabile Isotop ^{2}H, das Deuterium, und den weichen β-Strahler ^{3}H, das Tritium. Beim Kohlenstoff gibt es die radioaktiven Isotope ^{10}C, ^{11}C und ^{14}C und die stabilen ^{12}C, der zu 98,9% alle organischen Verbindungen aufbaut, und ^{13}C mit der Häufigkeit von 1,1%.

Nach welchen Gesichtspunkten soll nun die Auswahl eines Isotops getroffen werden, wenn man sowohl stabile wie auch radioaktive anwenden kann?

Als Vorteil des Arbeitens mit *stabilen* Isotopen ergibt sich die Unabhängigkeit von der Versuchszeit, ferner die Abwesenheit von Strahlung. Zu beachten

*) Vortrag, gehalten auf der 99. Versammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte am 24. September 1956 in Hamburg.

ist, daß die Menge des Isotops nicht klein gehalten werden kann, was aber nur beim Arbeiten mit Spuren hochwirksamer Verbindungen ins Gewicht fällt. Die möglichen Verdünnungsfaktoren sind nicht allzu groß, z.B. bei ^{13}C mit 60 Atom-% ^{13}C 1:6000, bei ^{15}N mit 60 Atom-% ^{15}N 1:15000, was aber für rein chemische Arbeiten meist ausreichend ist. Nachteilig ist, daß die Proben zur Ermittlung der Massenverhältnisse im Massenspektrometer oder auf bandenspektroskopischem Wege (z.B. bei ^{15}N) immer zerstört werden müssen. Gerade dies ist bei Proben, die mit *radioaktiven* Isotopen markiert sind, nicht der Fall, da sich die Menge des Isotops aus der Intensität der ausgesandten Strahlung ergibt. Liegen nach einer organisch-chemischen oder biochemischen Reaktion komplizierte Stoffgemische vor, so kann man, wenn die Ausgangssubstanz radioaktiv markiert war, z.B. mit ^{14}C, eine papierchromatographische Auftrennung vornehmen und sodann die Papierstreifen direkt unter einem Zählrohr vermessen. Bei der zur Zeit empfindlichsten und genauesten Meßmethode für ^{14}C verbrennen wir jedoch die Proben und bestimmten die Aktivität des gebildeten Kohlendioxyds in einem Gaszählrohr.

Neben der leichten Nachweisbarkeit fällt als Vorteil der radioaktiven Isotope sehr ins Gewicht, daß man häufig mit kleinsten Mengen und entsprechend hoher Aktivität arbeiten kann: Die möglichen Verdünnungsfaktoren sind nämlich viel größer als bei den stabilen Isotopen. So können wir mit der bei uns aufgebauten Meßeinrichtung (Fig. 1 und 2) von einer ^{14}C-markierten Verbindung mit dem Molgewicht von 100 bis 200 und der Aktivität von 2 Millicurie/Millimol noch $5 \cdot 10^{-9}$ g mit einer Genauigkeit von $\pm 4\%$ bestimmen.

Als nachteilig wirkt sich die Strahlung von Isotopen nur insofern aus, als man Strahlenschutzmaßnahmen ergreifen muß, die jedoch bei den für den Organiker wichtigsten Elementen T, ^{14}C und ^{35}S wegen der Weichheit der ausgesandten β-Strahlung nicht beachtet zu werden brauchen. Lediglich die Inkorporierung muß peinlichst vermieden werden.

In Tabelle 1 sind die für die organische Chemie wichtigsten Isotope aufgeführt, die käuflich erhältlich sind. Man erkennt, daß der radioaktive Wasserstoff eine günstige Halbwertszeit von etwa 10 Jahren hat. Er ist in hohen Aktivitäten billig zugänglich. Jedoch ist bei seiner Verwendung als Markierungsmittel für Wasserstoff Vorsicht am Platze wegen des hohen Isotopieeffektes, auf den weiter unten eingegangen wird. Als sog. Hilfsträger für Kohlenstoff kann er jedoch unbedenklich verwandt werden. Zum Beispiel kann eine an einer Reaktion nicht beteiligte Methylgruppe ohne weiteres mit Tritium markiert werden, um das Schicksal des gesamten Restes H_3C—R— zu ermitteln.

Tabelle 1. *Verfügbarkeit von Isotopen*

Element	Stabiles Isotop	Radioaktives Isotop	Halbwertszeit	Strahlung
Wasserstoff	$^{2}H = D$	—	—	—
Wasserstoff	—	$^{3}H = T$	10,46 Jahre	β, sehr weich*)
Stickstoff	^{15}N	—	—	—
Kohlenstoff	^{13}C	—	—	—
Kohlenstoff	—	^{14}C	5568 Jahre	β, weich*)
Chlor	—	^{36}Cl	$3 \cdot 10^5$ Jahre	β, weich*)
Brom	—	^{82}Br	35,5 Std	β, γ
Jod	—	^{131}J	8,08 Tage	β, γ
Schwefel	—	^{35}S	87,1 Tage	β, weich*)
Phosphor	—	^{32}P	14,3 Tage	β

*) Keine Strahlenschutzmaßnahmen erforderlich.

Ganz besonders günstig ist die große Halbwertszeit von ^{14}C mit 5500 Jahren. Man ist also praktisch unabhängig von der Versuchszeit wie beim stabilen ^{13}C. Da man nun ^{13}C, z.B. in Form von Kohlendioxyd, mit etwas größerer Genauigkeit als ^{14}C messen kann, wird man in den Fällen, in denen es auf größtmögliche Genauigkeit ankommt, wie bei der Messung von Isotopieeffekten, ^{13}C verwenden; doch ist auch in diesem Spezialfall wegen des größeren Isotopieeffektes von ^{14}C die Genauigkeit nur doppelt bis dreifach so groß wie bei der ^{14}C-Messung[1]).

Auf einen besonderen Fall sei noch hingewiesen, in dem man auf ^{13}C nicht verzichten kann. Tritt im Laufe einer chemischen oder biochemischen Reaktion eine symmetrische Verbindung auf, z.B. Bernsteinsäure $HOOC—CH_2—CH_2—COOH$ und interessiert die Frage, ob eine oder beide Methylengruppen markiert sind, so kann man nach Überführung in Äthylen leicht mit Hilfe des Massenspektrometers entscheiden, wie das Äthylen markiert ist, da die Masse von $CH_2 = {}^{13}CH_2 = 29$ und die von ${}^{13}CH_2 = {}^{13}CH_2 = 30$ ist[2]).

Im Falle der Isotopenfraktionierung bei der Decarboxylierung einer Carbonsäure $R—COOH \rightarrow R \cdot H + CO_2$ genügt der in der Carboxygruppe stets vorhandene 1,1%ige Überschuß an ^{13}C. Nun ist die Synthese von ^{14}C-markierten Carbonsäuren eine der einfachsten der Radiochemie, so daß der eben erwähnte Vorteil der direkten Verwendbarkeit einer Carbonsäure kaum von Bedeutung ist.

Da die in der organischen Chemie meist verwandten Isotope ^{14}C, ^{3}H und ^{35}S weiche β-Strahler sind, muß man sich mit deren speziellen Meßmethoden vertraut machen. Auf die vielen Möglichkeiten soll hier nicht eingegangen werden. Es sei nur kurz unsere Verbrennungsapparatur angegeben[3]), mit deren Hilfe wir das ^{14}C-haltige Kohlendioxyd und das tritiumhaltige Wasser aus einer organischen Verbindung gleichzeitig durch Trockenverbrennung erhalten (Fig. 1 und 2). Die Trockenverbrennung hat vor der häufig geübten Naßverbrennung den Vorteil, daß sie stets anwendbar ist.

Die Substanz wird bei 850° mit Sauerstoff verbrannt, und das Kohlendioxyd wird bei einem Vakuum von 0,5 Torr ausgefroren. Zwischen dem Verbrennungsrohr und der mit flüssiger Luft gekühlten Falle befindet sich eine Quecksilberdrossel, die den erwähnten Druckunterschied zwischen Normaldruck im Verbrennungsrohr und 0,5 Torr aufrechterhält. Diese Maßnahme ist erforderlich, weil es nicht möglich ist, mittels einer einfachen, mit flüssiger Luft gekühlten Falle das Kohlendioxyd quantitativ festzuhalten, wenn der Druck an nichtkondensierbaren Gasen größer als 1 Torr ist. Bei der Verbrennung tritiumhaltiger Substanzen ist noch eine mit Trockeneis-Aceton gekühlte Falle zum Festhalten des Wassers vorhanden. Werden stickstoffhaltige Verbindungen verbrannt, so müssen die entstehenden Stickoxyde noch in einem Hilfsofen zerstört werden, da sie eine Plateaubildung im Zählrohr verhindern. Nach der Verbrennung kann man durch

[1]) Vgl. GROVENSTEIN, E., u. G.A. ROPP: J. Amer. Chem. Soc. **78**, 2560 (1956); Fußnote 8.

[2]) WOOD, H.G.: J. of Biol. Chem. **194**, 905, 931 (1952). — SWIM, H. E., u. L.O. KRAMPITZ: J. Bacter. **67**, 426 (1954).

[3]) Ausgearbeitet von Dr. H. SIMON, Dipl.-Chem. J.-F. KLEBE und Dipl.-Chem. H. DANIEL.

Schließen eines Hahnes auch das Verbrennungsrohr evakuieren und so das restliche Kohlendioxyd aus ihm entfernen. Dadurch bleibt keinerlei Aktivität im Verbrennungsrohr zurück. Die erhaltene Menge Kohlendioxyd stimmt bei bekannten Verbindungen mit der berechneten überein (manometrische Kontrolle). Die Messung der Aktivität geschieht nach Überführung des Kohlendioxyds in ein Gaszählrohr aus Metall. Mit Hilfe von Äthan wird der erforderliche Druck eingestellt.

Zur Tritiummessung führen wir das erhaltene Wasser durch Reduktion mit Zink in Wasserstoff über und bringen es ebenfalls in ein Metallzählrohr mit Methan als Zählgas. Da bei der Verbrennung von tritiumhaltigen Verbindungen stets Aktivität im Verbrennungsrohr aus Quarz zurückbleibt, führen wir von einer Substanz stets eine Serie von drei Bestimmungen hintereinander aus. Die Messungen ergeben für das gleiche Material maximale Abweichungen von 0,5 bis 1,5%, für verschiedenes Material 1 bis 2%.

Soll eine bestimmte Fragestellung mit Hilfe isotopenmarkierter Verbindungen beantwortet werden, so sind außer bei der Aktivierungsanalyse[1]), folgende Schritte auszuführen:

1. Synthese der markierten Verbindung,
2. Ausführung der Reaktion,
3. Ermittlung der Isotopenverteilung in den Reaktionsprodukten.

Bevor etwa an die Synthese einer ^{14}C-markierten Verbindung gegangen wird[2]), ist zu erörtern, welche Aktivität einzusetzen ist. Dies hängt von der Empfindlichkeit des gewählten Meßverfahrens und von dem zu erwartenden Verdünnungsfaktor ab. Bei ^{14}C-markierten Verbindungen kommt man beim Studium rein chemischer Reaktionen und unter Verwendung von Bariumcarbonatplättchen zur Aktivitätsbestimmung mit einer Aktivität von 0,5 bis 1 Millicurie pro Mol aus, bei Verwendung des Gaszählrohres mit $^1/_{10}$ dieser Aktivität und noch weniger. Für biochemische Untersuchungen und solche organisch-chemischen, bei denen die radioaktive Substanz durch nichtradioaktives Material stark verdünnt wird, wie etwa beim Einbau von Polymerisationsbeschleunigern in die Polymerisate, verwendet man eine Aktivität von 1 mC/Millimol bis zu 10 mC/mMol.

Die Herstellung solch hoch aktiver organischer Verbindungen, die in bestimmten Stellungen der Molekel ^{14}C enthalten, stellt hohe Anforderungen an die mikropräparative Methodik und ist meist recht zeitraubend, wenn die bestmöglichen Ausbeuten und Reinheitsgrade erreicht werden sollen. Gerade an die Reinheit der Verbindungen müssen große Anforderungen gestellt werden, zumal nicht alle Verbindungen von der Aktivität der Größenordnung 1 mC/mMol unbeschränkt haltbar sind. Manche von ihnen zerfallen durch die Eigenstrahlung schon in wenigen Wochen oder Monaten zu einem beträchtlichen Teil[3]).

[1]) Während in der anorganischen Chemie die Aktivierungsanalyse mit Neutronen eine große Rolle zur quantitativen Bestimmung von Spuren eines Elementes spielt, ist diese Methode für die organische Chemie von geringerer Bedeutung. Lediglich bei den Elementen Schwefel und Phosphor können durch Neutronenbestrahlung ^{35}S und ^{32}P gebildet werden, wobei noch etwa $5 \cdot 10^{-7}$ bzw. $5 \cdot 10^{-10}$ g nachgewiesen werden können. Vgl. JENKINS, E.N., u. A. A. SMALES: Quart. Reviews **10**, No. 1, 83 (1956).

[2]) WEYGAND, F., u. H. SIMON: Synthese isotopenhaltiger organischer Verbindungen. In HOUBEN-WEYL, Methoden der organischen Chemie, IV, Teil 2, 543—727 (1955).

[3]) TOLBERT, B. M. u. Mitarb.: J. Amer. Chem. Soc. **75**, 1867 (1953). — LEMMON, R. M.: Nucleonics **11**, Nr. 10, 44 (1953). — WAGNER, C.D., u. V. P. GUINN: J. Amer. Chem. Soc. **75**, 4861 (1953).

Auf jeden Fall sollte man die Reinheit der Verbindungen der erwähnten hohen Aktivität nach längerer Lagerung prüfen, am besten papierchromatographisch, wenn immer das möglich ist.

Auf eine besondere Möglichkeit zur Markierung mit Tritium sei noch hingewiesen. Durch Vermischen

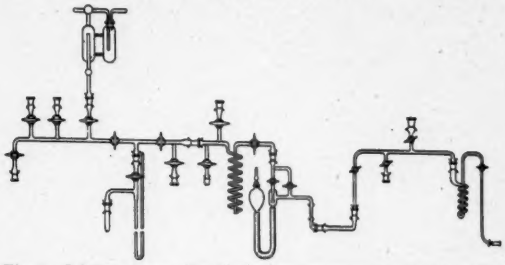


Fig. 1. Schema der an den Verbrennungsautomaten (rechts, nicht eingezeichnet) angeschlossenen Glasapparatur zur Handhabung von $^{14}CO_2$ und Abfüllung in das Zählrohr, das ganz links angebracht wird

einer organischen Verbindung mit Lithiumcarbonat und Einbringen in einen Reaktor treten die aus Lithium nach der Reaktion $^6Li\ (n, \alpha)\ T$ gebildeten Tritonen unter Ersatz von Wasserstoff in die organi-

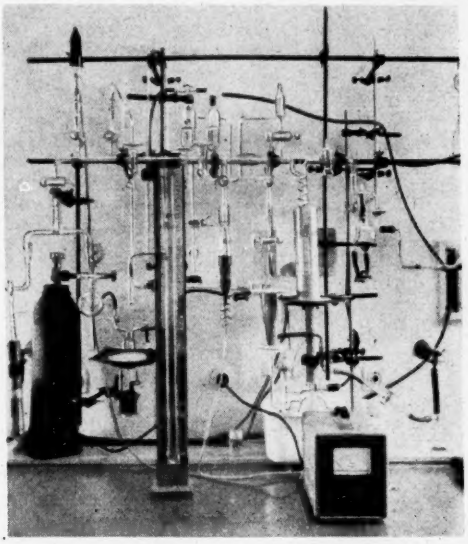


Fig. 2. Ansicht der Apparatur nach Fig. 1. Links neben der Stahlflasche (Äthan) das Gaszählrohr aus Metall

schen Molekeln ein. Hierbei werden nicht alle Wasserstoffatome gleichmäßig durch die Rückstoßtritonen verdrängt, wie das folgende Beispiel zeigt[4]).

D-Glucose	% T	D-Galaktose	% T
(T)HC=O	3	(T)HC=O	8
(T)HCOH	6	(T)HCOH	5
HOCH(T)	29	HOCH(T)	22
(T)HCOH	14	HOCH(T)	32
(T)HCOH	0	(T)HCOH	11
(T)H_2COH	24	(T)H_2COH	11

Aktivitätsverteilung von Tritium in % in Glucose und Galaktose nach der Einführung von Tritium durch Rückstoß-Tritonen; an Sauerstoff gebundenes Tritium wurde durch „Auswaschen" entfernt[4]).

[4]) ROWLAND, F.S., C. N. TURTON u. R. WOLFGANG: J. Amer. Chem. Soc. **78**, 2354 (1956).

Nach der Ausführung der Reaktion sind die Reaktionsprodukte in reiner Form zu isolieren, wobei, da fast immer eine Aktivitätsverteilung gemessen werden soll, eine quantitative Isolierung unnötig ist.

Schließlich erfolgt die Messung der Isotopenverteilung in den Reaktionsprodukten, häufig nach Vornahme definiert verlaufender Abbaureaktionen, wofür weiter unten noch Beispiele aufgeführt sind.

Wozu können nun die markierten Verbindungen in der organischen Chemie verwandt werden?

Zunächst ist die *Verdünnungsanalyse* zu nennen, die immer anwendbar ist, insbesondere dann aber herangezogen wird, wenn keinerlei andere Methoden zur quantitativen Bestimmung einer Verbindung bekannt sind. Zur Spurenanalyse ist diese Methode allerdings nicht geeignet. Man stellt die zu analysierende Verbindung isotopisch markiert her, fügt sie dem zu analysierenden Gemisch zu und hat dann nur eine für die Isotopenanalyse ausreichende Menge in reiner Form zu isolieren[1]). Durch eine einfache Verdünnungsrechnung ergibt sich für eine mit einem radioaktiven Isotop markierte Verbindung die zu bestimmende Menge x_2 zu

$$x_2 = \frac{A_a}{A_e} - 1 \cdot x_1$$

(A_a spez. Aktivität vor der Verdünnung; A_e spez. Aktivität nach der Verdünnung; x_1 Menge an zugesetzter radioaktiver Verbindung.)

Mit dieser Methode kann man z. B. die tatsächlichen Ausbeuten bestimmen, wenn durch das Isolierungsverfahren nur ein Bruchteil eines Reaktionsproduktes zu erfassen ist.

Die weiteren wichtigsten Anwendungsmöglichkeiten isotopenmarkierter organischer Verbindung sind folgende.

Die Verwendung zum *Studium* von *Austauschreaktionen*, von *Umlagerungsreaktionen*, zur Untersuchung des *Verlaufes* von *Synthesen*, zur *Führung* von *Strukturbeweisen* und zur *Aufklärung* von *Abbaureaktionen*.

Die ersten *Austauschreaktionen* wurden bald nach der Entdeckung des Deuteriums von BONHOEFFER ausgeführt, wobei gezeigt wurde, daß alle an Sauerstoff und Stickstoff gebundenen Wasserstoffatome in Deuteriumoxyd leicht gegen Deuterium und umgekehrt ausgetauscht werden können. Man bezeichnet daher solchermaßen gebundenen Wasserstoff als „auswaschbar". Als Folge davon ist es möglich, zwischen direkt an C und an O bzw. N gebundenem Wasserstoff scharf zu unterscheiden. Unter bestimmten Bedingungen sind auch Wasserstoffatome, die in Nachbarschaft von sog. aktivierenden Gruppen stehen, leicht austauschbar, z. B. durch Enolisierung der Wasserstoff- an C-Atomen, die CO-Gruppen direkt benachbart sind. Enolisierungsreaktionen konnten daher mit Hilfe von Deuterium näher untersucht werden.

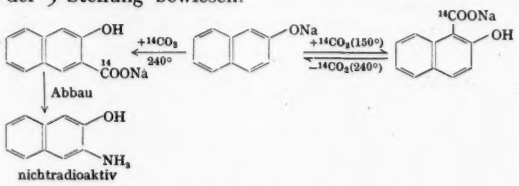
Ein weiteres Beispiel für Austauschreaktionen wird weiter unten bei der Besprechung der Osazonbildung behandelt.

Schon lange vor der Einführung der Isotopentechnik bestand das Bedürfnis, bestimmte Molekelgruppierungen irgendwie zu markieren. Man bediente sich hierzu häufig einer homologen Verbindung, also einer solchen, die eine CH_2-Gruppe mehr enthielt, oder es wurde eine chlorhaltige Verbindung durch eine bromhaltige ersetzt, und ein Benzolring wurde z. B. durch Einführung einer Methylgruppe kenntlich gemacht. Man war sich jedoch meist bewußt, daß durch diese Maßnahme die chemischen Eigenschaften geändert werden. Erst durch die Isotopenmarkierung wurden markierte und nichtmarkierte Verbindung chemisch weitestgehend gleich. Insbesondere konnte nun gerade der Einfluß von Substituenten, besonders auf *Umlagerungsreaktionen* untersucht werden. So ist es verständlich, daß eine ganze Reihe solcher Reaktionen unter Zuhilfenahme von reaktionskinetischen Untersuchungen aufgeklärt werden konnten.

Ein typisches Beispiel für eine mit Hilfe der Isotopenmarkierung näher untersuchte Reaktion ist die Claisen-Umlagerung[2]). Manchmal kann man mit der Isotopentechnik leicht entscheiden, ob eine Umlagerungsreaktion vorliegt oder nicht. So konnten wir klären, daß bei der Synthese von Naphthol-2-carbonsäure-3 keine Umlagerungsreaktion vorkommt[3]). Die Kenntnis des Reaktionsablaufes war auch von technischem Interesse, da das Anilid dieser Säure als Naphthol AS eine bedeutende Rolle bei der Fabrikation von Azofarbstoffen spielt.

Beim Erhitzen von β-Naphthol-natrium mit Kohlendioxyd im Autoklaven auf 150° findet eine normale KOLBE-Synthese zur 1-Carbonsäure statt. Wird weiter auf 240° erhitzt, so verschwindet die 1-Säure und es entsteht die 3-Säure. Da nun bei allen elektrophilen Substitutionen des β-Naphthols immer die Substitution in der 1-Stellung stattfindet, mußte für den vorliegenden Fall eine intermediäre Ringöffnung und erneuter Ringschluß diskutiert werden neben der Annahme, daß bei der hohen Temperatur auch eine elektrophile Substitution in der 3-Stellung erfolgt.

Ging man nun von β-Naphthol-(1-carbonsäure-^{14}C) aus und erhitzte in Gegenwart von nichtradioaktivem Kohlendioxyd auf 240°, so fand vollständige Gleichverteilung der Aktivität zwischen der β-Naphthol-3-carbonsäure und dem Kohlendioxyd im Gasraum statt. Ferner wurde durch Abbaureaktionen gefunden, daß im Naphthalinkern keinerlei ^{14}C vorhanden war. Damit war als Reaktionsverlauf die Decarboxylierung der 1-Carbonsäure und die erneute Carboxylierung in der 3-Stellung bewiesen.



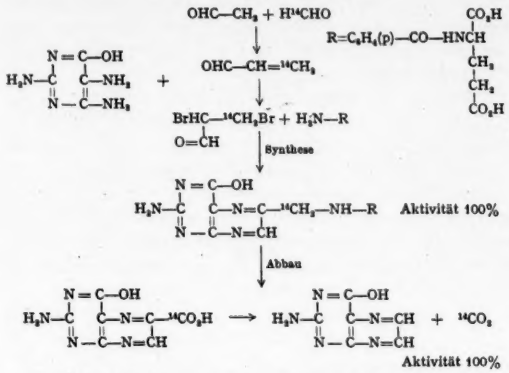
Auf die gleiche einfache Weise läßt sich häufig der Verlauf von Synthesen in den Fällen klären, in denen man auf sonstige Weise nicht herauszufinden vermag, wie ein gegebener Baustein im Reaktionsprodukt bezüglich der Reihenfolge der C-Atome wiederkehrt. Ein solcher Fall liegt vor bei der Synthese der Folsäure

[1]) Selbstverständlich kann auch die zu bestimmende Verbindung bereits im Gemisch markiert vorliegen, und zwar mit bekanntem oder unbekanntem Isotopengehalt. Im zuletzt genannten Fall sind z. B. zwei gleich. große Proben mit zwei verschieden großen Mengen von nicht markiertem Material zu verdünnen, und zwei Isotopenanalysen sind auszuführen.

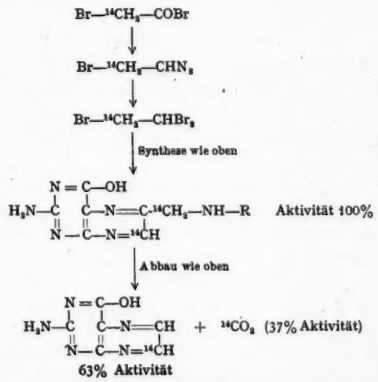
[2]) SCHMID, H. u. Mitarb.: Helv. chim. Acta **39**, 555 (1956) u. frühere Mitteilungen.

[3]) BURGDORF, K., H. GRISEBACH, H. KRACKER u. F. WEYGAND: Chem. Ber. **87**, 87 (1954).

mit den C_3-Bausteinen Acroleindibromid[1]) bzw. 1.1.3-Tribromaceton[2]). Die nachfolgende Formelübersicht zeigt, daß die CH_2Br-Gruppe des Acroleindibromids die Methylengruppe der Folsäure liefert, im Falle des Tribromacetons aber tritt eine Verteilung der Aktivität auf die beiden möglichen Positionen auf. Mehr kann zunächst aus diesen Versuchen über den Reaktionsverlauf nicht ausgesagt werden.



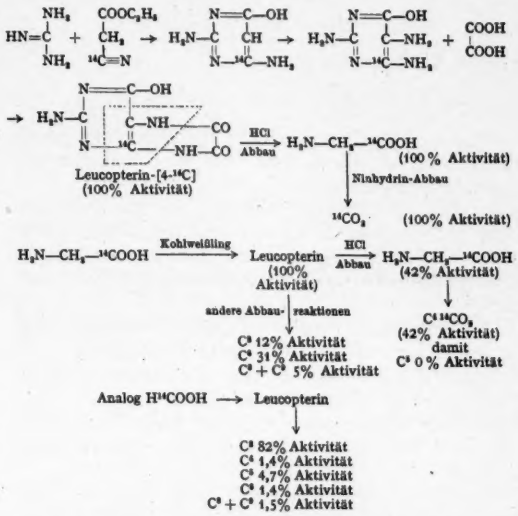
Verlauf der Folsäuresynthese mit Acroleindibromid-[3-^{14}C]



Verlauf der Folsäuresynthese mit 1.1.3-Tribromaceton-[3-^{14}C]

Bei diesem Studium dieser Synthese trat, wie aus den Formelreihen zu ersehen ist, die Notwendigkeit auf, die Endprodukte in definierter Weise abzubauen, um die Isotopenverteilung feststellen zu können. Solche Abbaureaktionen müssen insbesondere dann ausgeführt werden, wenn der viel komplexere Verlauf von Biosynthesen mit Hilfe von isotopenmarkierten Bausteinen untersucht wird. Auch dies soll durch ein einfaches Beispiel erläutert werden.

Bei der Untersuchung der Biosynthese des Leucopterins, die wir an den Puppen des Kohlweißlings vorgenommen haben[3]), mußte nach der Injektion verschiedener einfacher Bausteine die Radioaktivität an jedem C-Atom ermittelt werden. Nun erhält man durch Erhitzen mit konzentrierter Salzsäure die Aminosäure Glycin. Da es bekannt war, daß beim analogen Abbau der Harnsäure Glycin aus einer bestimmten Atomgruppierung hervorgeht, vermuteten wir, daß wegen des analogen Baues im vorliegenden Falle das Glycin ebenfalls aus den Atomen 4 und 5 des Pteridinskelettes gebildet wird. Es wurde daher entsprechend der nachfolgend aufgeführten Reaktionsfolge ein Leucopterin synthetisiert, das nur in der



4-Stellung ^{14}C enthielt. Durch Erhitzen mit konzentrierter Salzsäure entsteht daraus ein Glykokoll, das die gleiche molare Aktivität besitzt wie das Ausgangsleucopterin. Weiter fand sich die gleiche Aktivität im Kohlendioxyd, das aus dem Glycin mit Ninhydrin erhalten wird.

Wurde nun den Raupen des Kohlweißlings kurz vor der Verpuppung Glycin-1-^{14}C injiziert und das von den Schmetterlingsflügeln isolierte Leucopterin mit konzentrierter Salzsäure abgebaut, so zeigte sich, daß das auf diese Weise erhaltene Glykokoll 42% der Aktivität des gesamten Leucopterins enthielt. Durch andere Abbaureaktionen, die hier nicht geschildert werden sollen, wurde dann die Aktivität der restlichen C-Atome ermittelt.

Da primär durch die Isotopenexperimente der geschilderten Art die Reihenfolge von Atomen ermittelt wird, ist einleuchtend, daß in gewissen Fällen *Strukturbeweise* mit der Isotopentechnik geliefert werden können. Besonders CLUSIUS hat diese Methode bei solchen Molekeln angewandt, die zwei oder drei direkt aneinander gebundene Stickstoffatome enthalten, wie etwa das Phenylazid[4]). Danach ist die Azidogruppe offenkettig gebaut.

Näheren Einblick in den Verlauf von Reaktionen kann man unter Umständen dann erhalten, wenn das markierte Atom selbst an der Reaktion teilnimmt. Bisher wurde die stillschweigende Annahme gemacht, daß sich die verschiedenen Isotope eines Elements chemisch vollkommen gleich verhalten. Das trifft jedoch für die Isotope der leichten Elemente nur angenähert zu. Insbesondere sind theoretisch bei den Isotopen des Wasserstoffs recht erhebliche Unterschiede im chemischen Verhalten zu erwarten, was experimentell auch gefunden wurde. Dieses unterschiedliche chemische Verhalten der Isotope eines Elementes, das

[1]) WEYGAND, F., u. G. SCHÄFER: Chem. Ber. 85, 307 (1952).
[2]) WEYGAND, F., u. O. P. SWOBODA: Chem. Ber. 89, 18 (1956).
[3]) WEYGAND, F., u. M. WALDSCHMIDT: Angew. Chem. 67, 328 (1955).
[4]) CLUSIUS, K., u. H. R. WEISSER: Helv. chim. Acta 35, 1548 (1952).

in einer Isotopenfraktionierung resultiert, bezeichnet man auch als *Isotopieeffekt.*

Nach den Berechnungen von BIGELEISEN[1]) können die Unterschiede in den Geschwindigkeitskonstanten bei den Wasserstoffisotopen sein:

$$k_H/k_D = 18 \quad \text{und} \quad k_H/k_T = 60.$$

Für die Kohlenstoffisotope:

$$k_{^{13}C}/k_{^{12}C} = 1{,}25 \quad \text{und} \quad k_{^{14}C}/k_{^{12}C} = 1{,}50.$$

In der Praxis wurden diese Maximalwerte jedoch nie beobachtet. Es ist klar, daß beim vollständigen Ablauf intermolekularer Reaktionen und beim Umsatz stöchiometrischer Mengen ein Isotopieeffekt nicht auftreten kann, da alle markierten und nichtmarkierten Molekeln reagieren. Bei intramolekularen Reaktionen tritt der Isotopieeffekt jedoch fast stets auf.

So müßte beim Fehlen des Isotopieeffektes bei der Decarboxylierung von Malonsäure, die nur in einer Gruppe ^{14}C-haltig ist, in den Reaktionsprodukten Essigsäure und Kohlendioxyd gleiche Aktivität enthalten sein. Dies ist aber nicht der Fall. Experimentell wurde für die bei 154° ausgeführte Reaktion gefunden[2]):

$$k_{^{13}C}/k_{^{14}C} = 1{,}06 \pm 0{,}02.$$

Die C^{12}—C^{12}-Bindung wird also schneller gespalten als die C^{12}—C^{14}-Bindung.

Als Beispiel für einen intermolekularen Isotopieeffekt sei die Methylierung von Rohrzucker mit $^{14}CH_3J$ in Dimethylformamid unter Zusatz von Silberoxyd aufgeführt[3]):

Rohrzucker (8 Mol OH-Gruppen)	$+^{14}CH_3J$ (24,2 Mol)	→ Oktamethylrohrzucker	$+^{12}CH_3J$ (Überschuß)
Aktivität pro Mol CH_3-Gruppe	100%	85%	104%

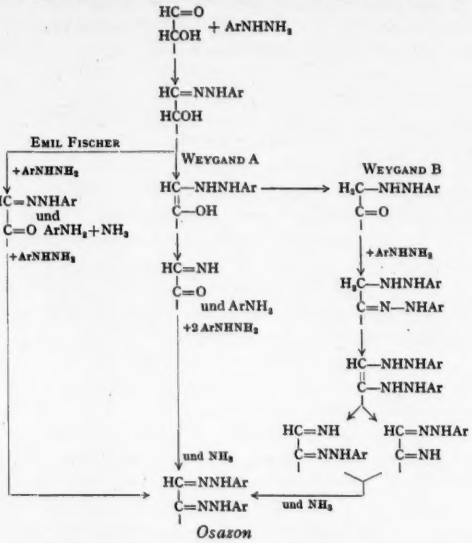
Würde man nur die Aktivität des Oktamethylrohrzuckers bestimmen, so könnte man den voreiligen Schluß ziehen, daß Methylgruppen des Dimethylformamids an der Reaktion beteiligt seien. Dies ist jedoch nicht der Fall, wie Versuche mit Dimethyl-[^{14}C]-formid zeigen.

Will man bei Versuchen, die Wasserstoffatome betreffen, den starken Isotopieeffekt des Paares H:D reduzieren, so ist es günstig, das Paar D:T zu verwenden, worauf gleich noch zurückzukommen ist.

Zum Schluß seien an den Untersuchungen über die Osazonbildung, die uns in den letzten Jahren stark beschäftigt hat, nochmals viele der gegebenen Möglichkeiten erläutert.

Bekanntlich öffnete die von EMIL FISCHER entdeckte Bildung der Zuckerosazone diesem das Tor zur Kohlenhydratchemie. Er fand, daß zur Bildung eines Zuckerosazons aus einer Aldose oder Ketose mindestens drei Mol Phenylhydrazin erforderlich sind, wobei eines zu Anilin und Ammoniak reduziert wird. FISCHER formulierte die Reaktion so, daß zunächst das Phenylhydrazon entsteht, dessen zweiständige Hydroxylgruppe zu einer Ketogruppe durch Phenylhydrazin dehydriert wird unter Reduktion von 1 Mol Phenylhydrazin zu Anilin und Ammoniak, worauf das dritte Mol Phenylhydrazin zum Osazon reagiert.

Als 1940 gefunden wurde, daß sich das aus p-Toluidin-N-glucosid durch Amadori-Umlagerung entstehende p-Tolyl-D-isoglucosamin rasch und in hoher



Ausbeute in das Glucose-phenylosazon überführen läßt, nahm ich diese Beobachtung zum Anlaß, neue Vorstellungen über die Osazonbildung zu entwickeln. Zwei mögliche Wege wurden diskutiert (Weg A und Weg B).

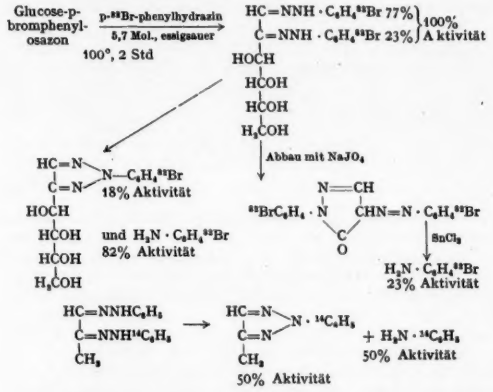
Das zunächst entstehende Phenylhydrazon soll, als N-Glykosid aufgefaßt, die für die AMADORI-Umlagerung formulierte Zwischenstufe (En-hydroxy-amino-Verbindung) erreichen, in der es eine intramolekulare Oxydoreduktion zu einem Imino-osonderivat erleidet. Dieses liefert mit 2 Mol Phenylhydrazin das Osazon. Bei Weg B war die AMADORI-Umlagerung zu Ende formuliert. Die Ketogruppe des AMADORI-Umlagerungsprodukts reagiert mit einem weiteren Mol Phenylhydrazin. Die neue Verbindung erleidet über ein En-diamin eine intramolekulare Oxydoreduktion zu einem Imino-phenylhydrazon, und schließlich erfolgt Austausch der Imino-gruppe mit Phenylhydrazin zum Osazon.

Zur Prüfung dieser Vorstellungen mit isotopenmarkierten Verbindungen waren folgende Möglichkeiten gegeben. Es konnten markiert werden 1. der Benzolring des Phenylhydrazins, 2. ein Stickstoffatom des Phenylhydrazins und 3. bei der Osazonbildung aus einer Aldose, z. B. aus Glucose, der Wasserstoff an C^1 des Zuckers mit Deuterium oder Tritium. Nur bei Weg B sind intermediär am C^1 zwei Wasserstoffatome vorhanden, von denen eines im fertigen Osazon fehlt. 4. Schließlich konnte die Reaktion in Deuteriumoxyd oder tritiumhaltigem Wasser oder in tritiumhaltigem Deuteriumoxyd ausgeführt werden.

Als wir diese Untersuchungen vor Jahren begannen, war uns ^{14}C noch nicht zugänglich. Wir wandten daher zur Markierung des Benzolringes radioaktives Brom (^{82}Br) an, arbeiteten also mit dem Paar p-Bromphenylhydrazin: p-^{82}Brom-phenylhydrazin, später dann auch mit dem Paar Phenylhydrazin: ^{14}C-Phenylhydrazin, was zu gleichartigen Ergebnissen führte.

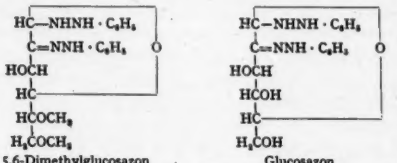
[1]) Vgl. die Zusammenfassung ROPP, G. A.: Nucleonics **1952**, 22.
[2]) ROE, A., u. M. HELLMANN: J. Chem. Physics **19**, 660 (1952).
[3]) WEYGAND, F., u. O. P. SWOBODA: Unveröffentlicht. Die Methylierung von Zuckern in Dimethylformamid wurde von R. KUHN, H. TRISCHMANN u. I. LÖW [Angew. Chem. **67**, 32 (1955)] angegeben.

Wollte man etwas über den Mechanismus der Osazonbildung mit Hilfe von phenylmarkiertem Arylhydrazin aussagen, so mußte zuerst geklärt werden, ob das Endprodukt nicht mit Arylhydrazin austauschte. Solche Transosazonierungsreaktionen waren mit verschiedenen Arylhydrazinen schon lange bekannt. Tatsächlich wurde mit den radioaktiv markierten Arylhydrazinen gefunden[1]), daß das Glucose-p-bromphenylosazon mit p-^{82}Brom-phenylhydrazin austauscht, aber nicht gleichmäßig schnell an beiden Arylhydrazinresten. Denn ein im Anschluß an den Austausch vorgenommener Abbau zeigte, daß der an C^1 gebundene Rest schneller austauschte. Setzen wir die gesamte in das Osazon eingetretene Aktivität = 100%, so befinden sich an dem C^1-ständigen Rest z. B. 77% der Aktivität. Auch die Osazone von anderen Zuckern, so auch das der 5.6-Dimethyl-glucose verhielten sich gleichartig. Die größeren Austauschgeschwindigkeiten der an C^1 gebundenen Reste kann zwei Ursachen haben. Entweder sind die C^1- und C^2-ständigen Reste verschiedenartig gebunden (der an C^1 N-glykosidisch, der andere hydrazonartig), oder der an C^1 gebundene ist sterisch weniger gehindert.



Auf folgende Weise konnte der sterische Effekt ausgeschlossen werden (siehe voranstehende Formeln). Behandelt man nach HANN und HUDSON das Glucosephenylosazon mit katalytischen Mengen Kupfersulfat, so entsteht ein Osotriazol, dessen Aktivität mit der geringeren Aktivität des an C^2 gebundenen Phenylhydrazinrestes korrespondiert. Das abgespaltene Anilin stammt also hauptsächlich aus dem C^1-ständigen Phenylhydrazinrest. Stellt man andererseits ein Methylglyoxalphenylosazon her, das nur am C^2-ständigen Rest radioaktiv markiert ist und dessen beide Phenylhydrazinreste hydrazonartig gebunden sein müssen, so enthält das bei der Osotriazolreaktion abgespaltene Anilin genau 50% der Aktivität. Das Anilin stammt also gleichmäßig aus beiden Phenylhydrazinresten.

Aus diesen Versuchen geht also hervor, daß im Glucosephenylosazon der eine Phenylhydrazinrest anders gebunden ist als der zweite. Da nun im Osazon der 5.6-Dimethyl-glucose nach den üblichen Anschauungen nur ein N-glykosidischer Ring von C^1 ausgehend zu formulieren ist und dieses sich bei den Austauschversuchen analog den Osazonen der anderen untersuchten Zucker verhält, sind wir berechtigt, einen N-glykosidischen Ring von C^1 ausgehend zu formulieren. Es liegt hier eine reaktionskinetische Methode zur Bestimmung der Reaktionsform einer Verbindung vor.



5.6-Dimethylglucosazon Austausch vorzugsweise an C^1 — Glucosazon Austausch vorzugsweise an C^1

Nachdem es sich also gezeigt hatte, daß im fertig gebildeten Osazon ein ziemlich schneller Austausch von Phenylhydrazinresten erfolgt, war nicht zu erwarten, daß bei der Osazonbildung selbst der Austausch unterbliebe. Das war auch der Fall, und so konnten mit Hilfe des in der Phenylgruppe markierten Phenylhydrazins keine Aussagen über den Verlauf der Osazonbildung gemacht werden.

Während wir nun dazu übergingen, Versuche mit Hilfe von tritiummarkierten Verbindungen auszuführen, kam uns eine Arbeit von SCHEMJAKIN und MAJMIND[2]) zur Kenntnis, die mit Hilfe von in der β-Stellung mit ^{15}N-markiertem p-Nitrophenylhydrazin ($O_2N(p) \cdot C_6H_4 \cdot NH \cdot {}^{15}NH_2$) die Osazonbildung beim Benzoin studiert hatten. Es war ihnen zunächst gelungen, Bedingungen ausfindig zu machen, unter denen im vorliegenden Falle der Austausch der p-Nitrophenylhydrazinreste unterbleibt.

SCHEMJAKIN und MAIJMIND stellten aus Benzoin das ^{15}N-markierte p-Nitrophenylhydrazon her und setzten es in Eisessig bei 50° mit 2 Mol nichtmarkiertem Phenylhydrazin um. In der Tabelle 1 sind die nach E. FISCHER sowie die nach den Wegen A und B zu erwartenden Verteilungen an ^{15}N in den Reaktionsprodukten aufgeführt (Ziffern Atom-% ^{15}N).

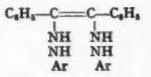
Tabelle 1

Nach E. FISCHER	Nach WEYGAND A	Nach WEYGAND B	Gefunden 1. Versuch	Gefunden 2. Versuch	Gefunden Mittelwert
		Ammoniak			
0,38	39,6	20,0*)	21,3	20.0	20,7
		Osazon			
6,91**)	0,38	3,65***)	4,08	3,77	3,92

*) $20{,}0 = \frac{39{,}6 + 0{,}38}{2}$ **) $6{,}91 = \frac{39{,}6 + 0{,}38 \cdot 5}{6}$

***) $3{,}65 = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{39{,}6 + 0{,}38 \cdot 5}{6} + 0{,}38\right)$

Aus diesen Versuchen ergibt sich ganz einwandfrei, daß die nach Schema B geforderte Zwischenstufe



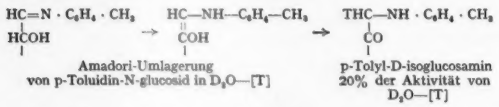
durchlaufen wird.

Auch unsere in den letzten Monaten mit Hilfe von tritiumhaltigen Verbindungen ausgeführten Versuche haben ergeben, daß die Bildung von Glucose-phenylosazon nicht nach E. FISCHER ablaufen kann. Denn führt man die Osazonbildung mit gewöhnlicher Glucose, deren Wasserstoff an den Hydroxylgruppen

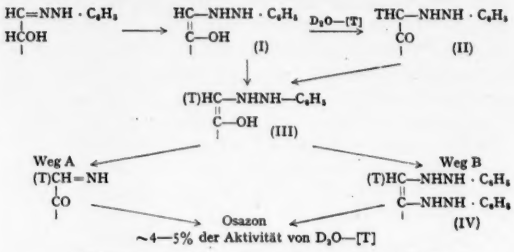
[1]) WEYGAND, F., H. GRISEBACH, K.-D. KIRCHNER u. M. HASELHORST: Chem. Ber. 88, 487 (1955).

[2]) SCHEMJAKIN, M. M., u. W. I. MAJMIND: Dokl. Akad. Nauk. SSSR. 102, 1144 (1955).

gegen Deuterium ausgetauscht worden war, in tritiumhaltigem Deuteriumoxyd aus, so finden sich im Osazon in fester Bindung ~4—5% der molaren Aktivität des Wassers. Durch Abbau mit Perjodat zum 1-Phenyl-4-phenylhydrazono-5-pyrazolon, das die gleiche Aktivität wie das Osazon hat, wurde bewiesen, daß das Tritium an C^1 der Zuckerkette gebunden ist. Läßt man andererseits die Amadori-Umlagerung von p-Toluidin-N-glucosid in dem gleichen tritiumhaltigen Wasser vor sich gehen, so findet man im p-Tolyl-D-isoglucosamin etwa 20% der molaren Aktivität des Wassers. Wie bei dieser Amadori-Umlagerung muß auch bei der Osazonbildung das Tritium in das Osazon gelangen. Da jedoch die eintretende Aktivität geringer ist, braucht offenbar die Stufe II nicht durchlaufen zu werden.



Über das Gleichgewicht I⇌II muß das Tritium an C^1 gelangen. III (= tritiumhaltiges I) könnte dann nach Schema A weiterreagieren oder mit Phenylhydrazin direkt IV liefern, das in Schema B die Schlüsselverbindung ist und über die, wie von SCHEMJAKIN und MAJMIND bewiesen wurde, die Osazonbildung beim Benzoin verläuft[1]).



Bildung von Glucose-phenylosazon in D_2O—[T]

Organisch-Chemisches Institut der Technischen Universität, Berlin-Charlottenburg

Eingegangen am 25. Oktober 1956

[1]) Ausführlicher wird über die Glucosazonbildung, auch über Versuche mit D-Glucose-[1-D,T] an anderer Stelle berichtet werden.

Kurze Originalmitteilungen

Für die Kurzen Originalmitteilungen sind ausschließlich die Verfasser verantwortlich

Die erdmagnetische Wirkung der nördlichen und der südlichen Sonnenhalbkugel

Seit langem ist bekannt, daß erdmagnetische Störungen häufiger sind, wenn die Erde von der Ebene des Sonnenäquators weiter entfernt ist[1]),[2]). Eine Untersuchung dieses Einflusses der heliozentrischen Breite B_0 der Erde auf die erdmagnetische Aktivität lehrt aber auch, daß Nord- und Südhalbkugel der Sonne erdmagnetisch nicht in gleichem Maße wirksam sind. Berechnet man nämlich in den von 1889 bis 1943 abgelaufenen fünf Sonnenfleckenzyklen die Mittelwerte der täglichen internationalen erdmagnetischen Charakterzahlen C_i für diejenigen Jahresabschnitte, in denen $|B_0| < 1°$ (30. Mai bis 14. Juni und 30. November bis 15. Dezember),

Tabelle 1. *Mittelwerte der internationalen erdmagnetischen Charakterzahlen C_i in den Sonnenfleckenzyklen Nr. 13—17*

Zyklus Nr.	Jahre	C_i für			Differenz Nord-Süd
		$\|B_0\| < 1°$	$B_0 > +5°$	$B_0 < -5°$	
13	1889—1900	0,598	0,650	0,720	−0,070
14	1901—1912	0,558	0,613	0,615	−0,002
15	1913—1922	0,588	0,686	0,661	+0,025
16	1923—1932	0,646	0,685	0,672	+0,013
17	1933—1943	0,644	0,703	0,747	−0,044
Gesamtzahl d. Tage		1760	5225	5127	

$B_0 > +5°$ (23. Juli bis 25. Oktober) und $B_0 < -5°$ (20. Januar bis 22. April) ist, so erhält man das in Tabelle 1 wiedergegebene Resultat. Dort steht in der ersten Spalte die Nummer des Fleckenzyklus in der Numerierung der Züricher Statistik; in der zweiten Spalte werden die Jahre angegeben, die der Zyklus umfaßt, wobei das Jahr, in das das Fleckenminimum gefallen ist, jeweils als erstes Jahr des neuen Zyklus gerechnet wurde. Die nächsten drei Spalten enthalten die Mittelwerte von C_i für Tage mit niedriger ($|B_0| < 1°$), hoher nördlicher ($B_0 > +5°$) und hoher südlicher ($B_0 < -5°$) heliozentrischer Breite der Erde. Diesen Mittelwerten liegt eine Abzählung der von BARTELS[3]) veröffentlichten einziffrigen Charakterzahlen C_9 zugrunde. Die Umrechnung der so gewonnenen Häufigkeitsverteilung der C_9-Werte auf C_i-Mittelwerte erfolgte mit Hilfe der Tabelle 2. Die Gesamtzahl der Tage, die zur Bildung der Mittelwerte in der dritten, vierten und fünften Spalte der Tabelle 1 herangezogen wurden, wird in der untersten Zeile dieser Spalten mitgeteilt. Ein Vergleich der Daten der vierten und fünften Spalte mit denen der dritten Spalte läßt den eingangs erwähnten Einfluß der heliozentrischen Breite B_0 der Erde auf die erdmagnetische Aktivität deutlich erkennen: in jedem Zyklus liegen die Mittelwerte von C_i für $B_0 > +5°$ und $B_0 < -5°$ über denen für $|B_0| < 1°$. Zugleich zeigt sich, daß die Zunahme von C_i für positive und negative B_0-Werte nicht gleich groß ist, daß also die Einwirkung der nördlichen und der südlichen Halbkugel auf die erdmagnetischen Störungen verschieden stark gewesen ist. Soweit die kurze Reihe von nur fünf Fleckenzyklen bereits eine Aussage zuläßt, scheinen die Werte in der letzten Spalte der Tabelle 1, die die Differenz zwischen den Zahlen der vierten und fünften Spalte darstellen, auf einen systematischen Wechsel hinzudeuten: War die südliche Sonnenhalbkugel an erdmagnetischer Wirksamkeit im Zyklus Nr. 13 erheblich und im

Tabelle 2. *Umrechnung der einziffrigen Charakterzahlen C_9 in internationale Charakterzahlen C_i*

C_9	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
C_i	0,05	0,25	0,45	0,65	0,85	1,05	1,30	1,65	1,90	2,00

Zyklus Nr. 14 nur noch unbedeutend überlegen, so wechselte dann dieses Übergewicht auf die nördliche Halbkugel hinüber, von wo es nach weiteren zwei Zyklen wieder zur südlichen Halbkugel zurückkehrte.

Diese erdmagnetische Überlegenheit einer Halbkugel kann zwei verschiedenen Ursachen entspringen: entweder ist tatsächlich die von ihr ausgehende Partikelstrahlung intensiver, oder die Quellgebiete dieser Strahlung, also vor allem die M-Regionen[1]), liegen auf ihr dem Äquator näher und werden dadurch erdmagnetisch wirksamer. Die Tatsache, daß innerhalb der hier in Rede stehenden fünf Sonnenfleckenzyklen auch der Schwerpunkt der Fleckenhäufigkeit in gleicher Weise zwischen der südlichen und der nördlichen Sonnenhalbkugel hin und her gewandert ist[4]), legt indes die Vermutung nahe,

daß für den hier gefundenen Unterschied zwischen der erdmagnetischen Wirkung der beiden Sonnenhalbkugeln die erste der beiden angeführten Ursachen maßgebend gewesen ist.

Observatorium der Universität, Istanbul
W. GLEISSBERG

Eingegangen am 16. Februar 1957

[1]) BARTELS, J.: Terrest. Magn. and Atmosph. Electricity **37**, 1 (1932).
[2]) ALLEN, C. W.: Monthly Notices Roy. Astron. Soc. **104**, 13 (1944).
[3]) BARTELS, J.: Tägliche erdmagnetische Charakterzahlen 1884—1950 und planetarische dreistündliche erdmagnetische Kennziffern 1932/33 und 1940—1950. Abh. Akad. Wiss. Göttingen, math.-phys. Kl., Sonderheft. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht 1951.
[4]) BRUNNER-HAGGER, W.: Astron. Mitt. Zürich, Nr. 144 (1945).

Einfluß der Einspannlänge auf die Tiefe der Gleitstufen

Die plastische Verformung von Metallkristallen erfolgt überwiegend durch Bildung diskreter Gleitstufen auf einzelnen Gitterebenen, wie elektronenmikroskopisch nachgewiesen wurde[1]). Auf die noch bestehenden Unstimmigkeiten in den Angaben der verschiedenen Autoren hinsichtlich der absoluten Größe der Abgleitungen und der Abstände der Gleitlinien wurde bereits an anderer Stelle hingewiesen[2]). Es wird im allgemeinen angenommen, daß jede solche Gleitstufe in einem einzigen, in kurzer Zeit ablaufenden Vorgang gebildet wird[3]). Hier soll nun auf eine in der Literatur wohl bisher noch nicht erwähnte Folgerung aus dieser Annahme hingewiesen werden.

Um einfache Verhältnisse zu erhalten, soll der reine Schubversuch betrachtet werden, z. B. in der Anordnung von BAUSCH[4]). Offensichtlich ist es — bereits rein geometrisch — eine notwendige Voraussetzung für das Auftreten einer momentanen Abgleitung um die Strecke a, daß der Kristall insgesamt vor der Abgleitung wenigstens um a in der Gleitrichtung elastisch verformt war. Die elastische Schubverformung e eines Kristalls mit der Einspannlänge L unter der Wirkung der Schubspannung τ beträgt

$$e = (\tau/G) \cdot L \qquad (G = \text{Schubmodul}).$$

Setzt man überschläglich für die Elastizitätsgrenze $\tau = 0{,}3\ \mathrm{kg/mm^2}$ und für den Schubmodul $G = 0{,}3 \cdot 10^4\ \mathrm{kg/mm^2}$ (bei Aluminium), so wird

$$a \leq e = 10^{-4} \cdot L.$$

Zu etwa dem gleichen Ergebnis wie diese rein geometrische Überlegung führt auch eine Betrachtung der Energiebilanz: Die bei der Spannung τ im elastisch verformten Kristall (mit der Querschnittsfläche F) gespeicherte Energie $U = \frac{1}{2}(\tau^2/G) \cdot LF$ muß mindestens gleich der Arbeit $A = \tau \cdot F \cdot a$ für die plastische Verformung eines Gleitschrittes sein. Dies führt auf

$$a \leq \tfrac{1}{2} \cdot (\tau/G) \cdot L = \tfrac{1}{2} \cdot 10^{-4} \cdot L.$$

Bei genügend großer Einspannlänge L reicht die im Kristall gespeicherte elastische Verformung also stets aus, um die beobachteten Abgleitungen in der Größenordnung von $a = 0{,}5 \ldots 2 \cdot 10^{-4}$ mm zu erzeugen. Dieser Fall liegt praktisch bei allen in der Literatur beschriebenen Versuchen vor, vor allem bei den Zugversuchen. Es ist daher anzunehmen, daß die experimentell beobachtete Begrenzung der Abgleitungsbeträge auf Ursachen im inneren Kristallaufbau, z. B. im Mechanismus der die Abgleitung bewirkenden Frank-Read-Quelle, zurückzuführen ist[5]).

Bei sehr kurzer Einspannlänge L dagegen wird die kritische Spannung τ im Kristall bereits bei elastischen Verformungen erreicht, die geringer sind als die üblicherweise beobachteten Abgleitungen. Man kann annehmen, daß die Versetzungserzeugung in der Quelle — und damit die Abgleitung — zum Stillstand kommt, wenn die vorliegende elastische Verformung abgebaut ist, da die laufende weitere Verformung des Kristalls bei den praktisch verwendeten Versuchsanordnungen (infolge der Massenträgheiten usw.) meist um mehrere Größenordnungen langsamer erfolgt und dabei den Frank-Read-Mechanismus sicher nicht in Gang halten kann. Es ist daher zu vermuten, daß in diesem Falle sehr kurzer Einspannlänge auch nur geringere Abgleitungen je Gleitlinie elektronenmikroskopisch auf der Kristalloberfläche festzustellen sein müßten. Bei dem als Zahlenbeispiel genannten Aluminium müßte sich der Effekt bei Einspannlängen kürzer als etwa 0,5 mm bemerkbar machen.

Auch ein analoger Einfluß der Korngröße bei polykristallinem Material auf den Betrag der Abgleitung je Gleitlinie erscheint möglich, obgleich natürlich die komplexen Wirkungen von Korngrenzen nicht so einfach modellmäßig zu erfassen sind wie die Wirkung einer Einspannung auf einen Einkristall.

Humboldt-Universität, Berlin, III. Physikalisches Institut
HANS R. BACHMANN und FRANZ X. EDER

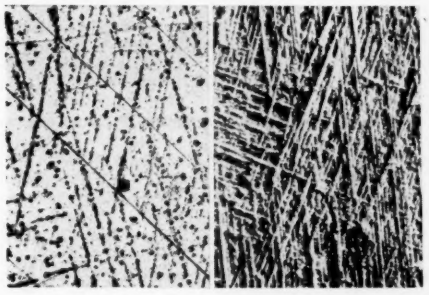
Eingegangen am 5. Februar 1957

[1]) Vgl. z. B. HEIDENREICH, R. D., u. W. SHOCKLEY: J. Appl. Physics **18**, 1029 (1947).
[2]) BACHMANN, H., in: Arbeitstagung Festkörperphysik II (Dresden 1954), S. 65. Leipzig 1955.
[3]) Über Beobachtungen, die für eine längere Dauer oder vielleicht besser für einen etappenweisen Ablauf des Abgleitvorganges auf einer Gleitebene sprechen, berichten H. WILSDORF u. D. KUHLMANN-WILSDORF, Z. angew. Phys. **4**, 361 (1952).
[4]) BAUSCH, K.: Z. Physik **93**, 479 (1935).
[5]) Vgl. EDER, F., u. P. TÄUBERT: Naturwiss. **41**, 473 (1954).

Eine Methode zum Sichtbarmachen von Beschädigungen an Kautschukoberflächen

Von den Methoden zur Beurteilung der Oberflächen von Werkstoffen ist die der mikroskopischen Beobachtung wohl die gebräuchlichste. Bei Anwendung dieser Methode zur Betrachtung der Oberflächen von Gummiteilen erweisen sich diese im allgemeinen, insbesondere bei Schrägbeleuchtung, als stark profiliert und unregelmäßig. Dadurch ist es nicht möglich, zwischen natürlichen Unebenheiten und mechanischen Beschädigungen der Oberflächen zu unterscheiden.

Eine Methode, die ihrem Wesen entsprechend als „autochemographische" Methode bezeichnet werden könnte, gestattet es, derartige Unterschiede festzustellen, sofern die Oberflächenbeschädigungen noch nicht zu alt sind. Die Methode beruht darauf, daß durch schwefelhaltige Stoffe, die aus



a b

Fig. 1a u. b. Mechanisch beschädigte Gummioberfläche. a Autochemogramm, b bei mikroskopischer Betrachtung (Schrägbeleuchtung). Vergr. 10fach

dem Gummi herausdiffundieren, auf Silber- oder Kupferblechen Schwärzungen bzw. Ätzungen hervorgerufen werden. Durch das bevorzugte Herausdiffundieren der schwefelhaltigen Stoffe aus den beschädigten Stellen der Gummioberfläche markieren sich die Beschädigungen in sehr deutlicher Weise. Methodisch wird bei der Autochemographie von Gummioberflächen so verfahren, daß das Gummiteil mit der zu untersuchenden Oberfläche für einige Zeit fest auf eine blankpolierte Kupfer- oder Silberplatte gebracht wird. Nach hinreichender Expositionsdauer ergibt sich ein Autochemogramm. In Fig. 1a ist als Beispiel ein solches einer Gummioberfläche wiedergegeben, die mechanisch beschädigt worden war. Im Gegensatz dazu zeigt Fig. 1b die gleiche Oberfläche bei mikroskopischer Betrachtung unter Schrägbeleuchtung. Während die Fig. 1b alle Unebenheiten der Gummioberfläche erkennen läßt, heben sich in der Fig. 1a nur die Ätzspuren auf dem Metall, die den Beschädigungen auf der Gummioberfläche entsprechen, in deutlicher Weise von dem Untergrund ab.

Physikalisches Institut der Bundesforschungsanstalt für Milchwirtschaft, Kiel
H. LAGONI und D. MERTEN

Eingegangen am 30. Januar 1957

Ein weiterer neuer Kettentyp in der Kristallstruktur des Pyroxmangits $[(Fe, Mn, Ca, Mg)\ SiO_3]_x$

Drehkristall- und Weissenberg-Aufnahmen ergaben die Gitterkonstanten a, b, c und β eines Pyroxmangits aus Iva, South Carolina, zu:

$$a = 6{,}67_1\ \text{Å} \qquad b = 7{,}55_7\ \text{Å} \qquad c = 17{,}45\ \text{Å} \qquad Z = 14$$
$$\alpha = 113{,}3^\circ \qquad \beta = 84{,}0^\circ \qquad \gamma = 94{,}3^\circ$$

α und γ sind Werte von PERUTZ[1]). $Z = 14$ Formeleinheiten (Fe, Mn, Ca, Mg) SiO_3 befinden sich in der Elementarzelle.

Mit aus Weissenberg-Aufnahmen geschätzten und wie üblich korrigierten Intensitäten der $h0l$-Reflexe wurde die Patterson-Funktion $P(u, w)$ berechnet. Diese ist, abgesehen vom Unterschied der Größe der Elementarzellen beider Silikate, weitgehend ähnlich der entsprechenden Projektion $P(u, w)$ des Rhodonits[2]). Minimumfunktionen höherer Ordnung führten zur Raumgruppe $P\bar{1}$ und ergaben ungefähre

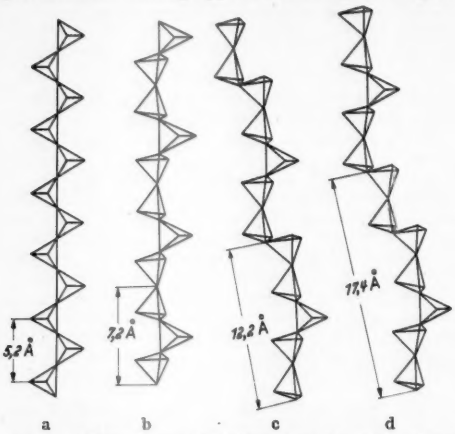


Fig. 1a—d. Schematische Darstellung der bis jetzt bekannten Anionen-Kettentypen $(SiO_3)_x^{-2x}$. a Zweierkette; b Dreierkette; c Fünferkette; d Siebenerkette

x- und z-Parameter für die Kationen. Mit Fourier-Projektionen, Differenzsynthesen und der trial-and-error-Methode wurden diese Parameter verbessert und die Si-Lagen bestimmt. Sie ergaben sehr ähnliche Atomlagen wie im Rhodonit. Auch der Pyroxmangit enthält daher Ketten, nur beträgt deren Periode 7 SiO_4-Tetraeder gegenüber fünf im Rhodonit.

In Fig. 1d ist der neue Kettentyp mit den bekannten Zweierketten[3]) (Fig. 1a), den Dreierketten im Wollastonit (Fig. 1b)[4]), [5]) und den kürzlich im Rhodonit entdeckten Fünferketten (Fig. 1c) verglichen[2]).

Die Strukturanalyse wird weitergeführt.

Berlin-Adlershof, Institut für Anorganische Chemie der Deutschen Akademie der Wissenschaften zu Berlin (Direktor: Prof. Dr. E. THILO)

FRIEDRICH LIEBAU

Eingegangen am 28. Januar 1957

[1]) PERUTZ, M.: Mineral. Mag. 24, 573 (1937).
[2]) HILMER, W., F. LIEBAU, E. THILO u. K. DORNBERGER-SCHIFF: Naturwiss. 43, 177 (1956).
[3]) WARREN, B.E., u. W.L. BRAGG: Z. Kristallogr. 69, 168 (1928).
[4]) DORNBERGER-SCHIFF, K., F. LIEBAU u. E. THILO: Acta crystallogr. 8, 752 (1955).
[5]) LIEBAU, F.: Acta crystallogr. 9, 811 (1956).

Die Raman-Spektren des Peroxydisulfat- und des Peroxydiphosphatanions

Im Rahmen von molekelspektroskopischen Untersuchungen zur Struktur von Schwefelsauerstoff- und Phosphorsauerstoffverbindungen wurden die Raman-Spektren leicht löslicher Salze der Peroxydischwefelsäure und der Peroxydiphosphorsäure aufgenommen. Es wurden gesättigte wäßrige Lösungen folgender Substanzen spektroskopiert: $(NH_4)_2S_2O_8$; $Na_2S_2O_8$; $K_4P_2O_8$. Die Persulfate waren handelsübliche Präparate, die durch Umkristallisieren von Sulfatverunreinigungen befreit werden konnten, beim Belichten jedoch wieder Sulfat nachbildeten. Die Anwesenheit von $SO_4^{=}$-Ionen wurde bei der Auswertung der Spektren berücksichtigt. Das Kaliumperoxydiphosphat stellten wir nach FR. FICHTER und E. GUTZWILLER[1]) her und reinigten es bis zur Phosphatfreiheit. Die Belichtungszeit betrug 2 bis 4 Std. Eine weitere Steigerung ließ keine neuen Linien erkennen. Durch Anregung mit der Hgk-Linie wurden eventuelle Triplettanregungen ausgeschieden, so daß sich folgende Frequenzen in cm^{-1} für die betreffenden Anionen ergaben:

$Na_2S_2O_8$: 214 (7); 322 (6); 404 (4); 464 (2); 563 (6); 631 (3); 694 (1); 738 (2); 840 (10); 1020 (2); 1080 (10); 1285 (6).

$(NH_4)_2S_2O_8$: 210 (7); 315 (6); 402 (4); 463 (2); 558 (6); 628 (3); 696 (1); 733 (2); 835 (9); 1018 (2); 1074 (10); 1276 (6).

$K_4P_2O_8$: 328 (4); 397 (4); 514 (5); 585 (3); 683 (1); 732 (2); 784 (9); 835 (2); 890 (10); 1008 (10); 1047 (2); 1116 (5).

Unsere Spektren der Persulfate sind bedeutend linienreicher als die, die GHOSH und DAS[2]) und NISI[3]) mitgeteilt haben.

Aus der Bildungsweise der Persulfate und Perphosphate durch anodische Oxydation ergeben sich für die Anionen die Atomanordnungen $O_3S—O—O—SO_3^{3-}$ und $O_3P—O—O—PO_3^{4-}$. Für ein zehnatomiges Gebilde resultieren 24 Schwingungsfreiheitsgrade. Wir finden maximal 12 Linien. Unter den zahlreichen möglichen Strukturen der untersuchten Anionen fordern nur die Strukturen mit den Punktgruppen D_{3d}; D_{3h}; D_3; C_{2h} und C_i eine Verminderung der im Raman-Effekt zu erwartenden Linienzahl durch Entartung oder Linienverbote. Die Auswahlregeln lehren, daß für die Punktgruppe D_{3d} 8, für D_3 13 und für D_{3h}, C_{2h} und C_i je 12 Frequenzen zu erwarten sind. Während das Raman-Spektrum die Punktgruppe D_{3d} sicher ausschließt, kann eine Entscheidung zwischen D_{3h}, C_{2h} und C_i nicht mit Sicherheit getroffen werden. Jedoch ergibt sich aus der Theorie der Molekelspektren, daß im Ultrarotspektrum für die Punktgruppe D_{3h} nur zwei S—O- bzw. P—O-Valenzschwingungen zu erwarten sind, während für die Punktgruppen C_{2h} und C_i drei Schwingungen erlaubt sind. Unter Berücksichtigung der UR-Daten von MILLER und WILKINS[4]) für die Persulfate und von CORBRIDGE und LOWE[5]) für die Perphosphate wird auch die Punktgruppe D_{3h} ausgeschlossen. Die spektroskopischen Daten sprechen für eine Symmetrie der Punktgruppe C_{2h} sowohl für das $P_2O_8^{4-}$- als auch für das $S_2O_8^{2-}$-Anion. Das entsprecht einer gewinkelten P—O—O—P- bzw. S—O—O—S-Brücke in „Sesselform". Dieselbe Struktur haben ZACHARIASEN und MOONEY[6]) für festes Ammoniumpersulfat röntgenographisch ermittelt. Zur sicheren Entscheidung zwischen der Punktgruppe C_{2h} und C_i ist die Messung des Depolarisationsgrades der Raman-Frequenzen beabsichtigt.

Die gemessenen Frequenzen lassen sich wie folgt zuordnen:

$S_2O_8^{2-}$: Die starke Linie bei 1080 cm^{-1} entspricht der totalsymmetrischen S—O-Valenzschwingung. Die Linien bei 1285 cm^{-1} und 1020 cm^{-1} sind asymmetrische S—O-Valenzschwingungen. Die O—O-Frequenz liegt bei 840 cm^{-1}. Die Frequenz der S—O-Einfachbindung liegt bei 556 cm^{-1}. Alle anderen Linien zwischen 400 cm^{-1} und 800 cm^{-1} gehören S—O-Deformationsschwingungen an. Die beiden tiefsten Frequenzen bei 214 cm^{-1} und 322 cm^{-1} müssen den Deformationsbeanspruchungen der S—O—O—S-Kette zugeschrieben werden.

$P_2O_8^{4-}$: Die Linien bei 1116 cm^{-1} und 1067 cm^{-1} sind asymmetrische P—O-Valenzschwingungen. Die starke Linie bei 1008 cm^{-1} ist die totalsymmetrische P—O-Valenzschwingung. Die Schwingung der O—O-Gruppe liegt bei 890 cm^{-1}. Die P—O-Valenzfrequenz der P—O—O—P-Brücke liegt bei 784 cm^{-1}. Die schwachen Linien zwischen 500 cm^{-1} und 900 cm^{-1} sind P—O-Deformationsschwingungen zuzuordnen. Die Linien bei 328 cm^{-1} und 397 cm^{-1} gehören wahrscheinlich Deformationsschwingungen der P—O—O—P-Kette an.

Nach Abschluß der Untersuchungen werden wir an anderer Stelle ausführlich berichten.

Institut für Anorganische und Anorganisch-Technische Chemie der Technischen Hochschule, Dresden

A. SIMON und H. RICHTER

Eingegangen am 4. Februar 1957

[1]) FICHTER, FR., u. E. GUTZWILLER: Helv. chim. Acta 11, 325 (1928).
[2]) GHOSH, J.C., u. S.K. DAS: J. Physic. Chem. 36, 586 (1932).
[3]) NISI, H.: Jap. J. Physics 5, 119 (1929).
[4]) MILLER, F.A., u. WILKINS: Anal. Chemistry 24, 1253 (1952).
[5]) CORBRIDGE, D.E.C., u. E.J. LOWE: J. Chem. Soc. [London] 1954, 4555.
[6]) ZACHARIASEN, W.H., u. R.C.L. MOONEY: Z. Kristallogr. A 88, 63 (1934).

Über die Kristallstrukturen komplexer Fluoride des Niobs und Tantals

Cox hat in einer kürzlich erschienenen Arbeit über die Kristallstrukturen komplexer Fluoride des Niobs und Tantals berichtet. Auch wir haben uns mit diesem Problem beschäftigt, leider wird sich die Veröffentlichung der vollständigen Ergebnisse noch etwas verzögern. Wir geben deshalb die einzelnen Daten unserer Untersuchung bekannt.

Die Säuren $HNbF_6 \cdot 6\,H_2O$ (neu dargestellt, Schmelzpunkt 14,3°) und $HTaF_6 \cdot 6\,H_2O$ sind isotyp mit der Säure $HPF_6 \cdot 6\,H_2O$ (Raumgruppe $O_h^1 - Im\,3m$, Nr. 229). Die Gitterkonstanten betragen 7,87 bzw. 7,88 Å. Die Ammonium-, Rubidium- und Cäsiumsalze $MeXF_6$ besitzen die Struktur des BaSiF -Typs ($D_{3d}^5 - R\,3m$, Nr. 166) und haben folgende Gitterkonstanten (rhomboedrische Aufstellung):

Tabelle 1

	a	α		a	α
NH_4NbF_6	5,19	96° 6′	NH_4TaF_6	5,18	96° 4′
$RbNbF_6$	5,13	96° 22′	$RbTaF_6$	5,14	96° 25′
$CsNbF_6$	5,33	96° 50′	$CsTaF_6$	5,34	96° 20′

Die Werte der Rb- und Cs-Salze stimmen mit denen von Cox überein.

Weiterhin untersucht sind die Kaliumsalze. Wir haben gefunden, daß die aus wäßriger Lösung erhaltenen Kristalle nicht kubisch, sondern tetragonal sind. Gitterkonstanten

$KNbF_6$ $a = 5{,}18$ Å $c = 10{,}05$ Å
$KTaF_6$ $a = 5{,}20$ Å $c = 10{,}05$ Å

Als Raumgruppe (aus Einkristall-Aufnahmen) ergibt sich $D_{2d}^6 - P\bar{4}\,C2$, Nr. 116. Vielleicht besteht eine Polymorphie, etwa daß die kubische Form der englischen Autoren ($a = 10{,}29$ Å) eine Hochtemperaturform ist.

Von allen Verbindungen sind die Parameter bestimmt. Die vollständige Angabe aller Daten erfolgt an anderer Stelle.

Frankfurt a. Main, Zentral-Laboratorium der Accumulatoren-Fabrik A.G.

H. Bode und H. v. Döhren

Eingegangen am 13. Februar 1957

[1]) Cox, B.: J. Chem. Soc. [London] 1956, 876.

Die Wasserstoffperoxyd-Bildung durch Ultraschall in wäßrigen Lösungen von Gemischen des Wasserstoffs mit Argon und mit Sauerstoff

Unter dem Einfluß intensiver Ultraschallwellen entsteht in edelgas- und in sauerstoffhaltigem Wasser H_2O_2; in H_2-gesättigter Lösung wird dieses nicht gebildet. In edelgashaltigen Lösungen wird H_2O_2 durch Kombination von OH-Radikalen gebildet, die durch die Zersetzung des Wassers im Verlauf von Ionisations- und Anregungsakten in pulsierenden Kavitationsgasbläschen[1c]) entstehen[2]):

$$H_2O \rightsquigarrow H^\cdot + OH^\cdot. \qquad (1)$$

In Lösungen von Gasgemischen, deren Komponenten mit diesen Zersetzungsprodukten des Wassers nicht oder nur in geringem Maße reagieren (A—He- und A—N_2-Gemische), besteht für die H_2O_2-Bildung in Abhängigkeit von der Zusammensetzung des Gasgemisches ein linearer Zusammenhang (Fig. 1). In A—H_2-haltigem Wasser wird die H_2O_2-Bildung bereits bei kleinen H_2-Gehalten unterdrückt (Fig. 1); dies ist auf die Vernichtung der nach (1) entstandenen OH-Radikale zurückzuführen:

$$OH^\cdot + H_2 \rightarrow H_2O + H^\cdot. \qquad (2)$$

Die entstandenen H-Atome lassen sich durch ihre Reduktionswirkung auf gleichzeitig gelöstes Jod nachweisen[1a]).

In O_2-gesättigtem Wasser tritt die Zersetzung (1) des Wassers seltener ein als in A-haltigem Wasser[1b]), jedoch wird H_2O_2 in beträchtlicher Menge gebildet nach:

$$\left.\begin{array}{ll} H_2O \rightsquigarrow H^\cdot + OH^\cdot; & H^\cdot + O_2 \rightarrow HO_2^\cdot \\ \frac{1}{2}\,HO_2^\cdot + \frac{1}{2}\,HO_2^\cdot \rightarrow \frac{1}{2}\,H_2O_2 + \frac{1}{2}\,O_2 & \\ \frac{1}{2}\,OH^\cdot + \frac{1}{2}\,OH^\cdot \rightarrow \frac{1}{2}\,H_2O_2, & \end{array}\right\} \qquad (3)$$

so daß pro gespaltene Molekel H_2O 1 Molekel H_2O_2 entsteht. In A-haltigem Wasser rekombiniert bei Abwesenheit von O_2 der größte Teil der nach (1) entstandenen Radikale und Atome[1b]). In O_2—H_2-haltigem Wasser (Fig. 2) wird bei jeder Zusammensetzung des Gasgemisches mehr H_2O_2 gebildet, als einem linearen Zusammenhang (gestrichelt) entspricht. Mit zunehmendem H_2-Gehalt tritt zunächst eine Erhöhung der H_2O_2-Bildung ein. H_2 reagiert mit den Zersetzungsprodukten des Wassers in O_2—H_2-haltigem Wasser nach:

$$\left.\begin{array}{ll} H_2O \rightsquigarrow H^\cdot + OH^\cdot; & \\ H^\cdot + O_2 \rightarrow HO_2^\cdot; & H^\cdot + O_2 \rightarrow HO_2^\cdot \\ OH^\cdot + H_2 \rightarrow H_2O + H^\cdot; & 2\,HO_2^\cdot \rightarrow H_2O_2 + O_2, \end{array}\right\} \qquad (4)$$

dabei entsteht wieder pro gespaltene Molekel H_2O 1 Molekel H_2O_2. Die erhöhte H_2O_2-Bildung wird hierdurch nicht erklärt. Sie wäre — ähnlich wie die erhöhte Ausbeute in O_2—H_2-

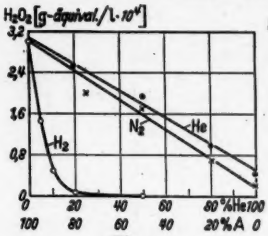


Fig. 1

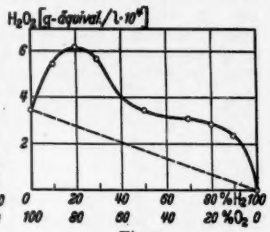


Fig. 2

Fig. 1. H_2O_2-Bildung in wäßrigen Lösungen von Gemischen des Argons mit He, N_2 und H_2. Beschallung: 15 min. Frequenz: 500 kHz. Temperatur: 20 ± 1° C. Oberer Abszissenmaßstab sowohl für He als auch für N_2 und H_2

Fig. 2. H_2O_2-Bildung in wäßrigen Lösungen von O_2—H_2-Gemischen. Beschallung: 15 min

haltigem Wasser durch Gamma-Strahlen[3]) — verständlich, wenn in O_2-gesättigtem Wasser neben den Reaktionen (3) die Reaktion

$$OH^\cdot + HO_2^\cdot \rightarrow H_2O + O_2 \qquad (5)$$

häufig abläuft, die zu einer Verminderung der H_2O_2-Ausbeute führt; in Gegenwart von H_2 wird (5) wegen (2) unterbunden. Besonders naheliegend ist es jedoch, die erhöhte H_2O_2-Bildung in Fig. 2 auf eine Aktivierung des Sauerstoffs in den Kavitationsblasen zurückzuführen, unter Bildung von reaktiven Teilchen, die in O_2-gesättigtem Wasser nicht zur H_2O_2-Bildung beitragen, aber mit wenig zugesetztem Wasserstoff H_2O_2 bilden:

$$O_2 \rightsquigarrow O + O. \qquad (6)$$

Reaktionen der O-Atome im O_2-gesättigten Wasser:

$$O + O \rightarrow O_2 \quad \text{oder} \quad O + O_2 \rightarrow O_3. \qquad (7)$$

Die Bildung von Ozon in O_2-gesättigtem Wasser ist kürzlich beobachtet worden[4]). Bei Zusatz von H_2:

$$\left.\begin{array}{ll} O + H_2 \rightarrow OH^\cdot + H^\cdot; & 2\,H^\cdot + 2\,O_2 \rightarrow 2\,HO_2^\cdot \\ OH^\cdot + H_2 \rightarrow H_2O + H^\cdot; & 2\,HO_2^\cdot \rightarrow H_2O_2 + O_2. \end{array}\right\} \qquad (8)$$

Da durch den Zusatz von wenig H_2 eine Erhöhung der H_2O_2-Ausbeute bis auf das 1,8fache erzielt wird (Fig. 2), entstehen demnach pro gespaltene Molekel H_2O 0,8 O-Atome in O_2-Kavitationsgasblasen.

Bei höheren H_2-Gehalten nimmt die H_2O_2-Bildung (Fig. 2) ab, da hier die Zersetzung des Wassers (1) und Dissoziation des Sauerstoffs (6) immer seltener eintreten. Eine bemerkenswert hohe H_2O_2-Bildung erfolgt noch bei sehr kleinen O_2-Gehalten. Chemische Wirkungen in H_2-gesättigtem Wasser sind bisher nur in geringem Umfang und mit sehr kleinen Ausbeuten beobachtet worden, z. B. die Reduktion von Fe^{3+}-Ionen[5]) oder Bildung von Cl^--Ionen aus CCl_4 in wäßriger Lösung[1d]). Es scheint nach den Ergebnissen der Fig. 2, daß die Bildung von H-Atomen oder angeregten H_2-Molekeln, die mit wenig zugesetztem O_2 zu H_2O_2 reagieren, in wasserstoffhaltigen Kavitationsgasblasen häufiger stattfindet, als bisher anzunehmen war.

Institut für Physikalische Chemie der Universität, Köln

Arnim Henglein

Eingegangen am 16. Januar 1957

[1]) Henglein, A.: Naturwiss. 43, a) 278, b) 277 (1956). — c) Z. Naturforsch. 9b, 252 (1954); 10b, 20 (1955). — d) Makromolekulare Chem. 14, 28 (1954).

[2]) Prudhomme, R. O., u. P. Grabar: J. chim. physique 46, 323 (1949).

[3]) Hochanadel, C. J.: J. physic. Chem. 56, 587 (1952).

[4]) Haissinsky, M., u. A. Mangeot: Nuovo Cimento, Ser. X, 4, 1086 (1956).

[5]) Virtanen, I., u. N. Ellfolk: Acta chem. scand. 4, 93 (1950).

Über Mechanismus und Verlauf der Entwässerung von Hydrargillit und Bayerit

Viele Forscher nehmen an, daß bei der Dehydratation von Hydrargillit und Bayerit primär nicht Böhmit (γ-AlOOH), sondern eine oxydische Phase auftritt. Nach DAY und HILL[1]) bildet sich aus diesem Oxyd mit dem entstandenen Wasser Böhmit, während nach CHATELAIN[2]) die zuerst gebildete Oxydkruste auf der Oberfläche der Trihydroxydkristalle den sich entwickelnden Wasserdampf zurückhält und so zur hydrothermalen Synthese von Böhmit im Innern der Kristalle führt. Dagegen soll nach DE BOER, FORTUIN und STEGGERDA[3]) die Dehydratation im Innern der Trihydroxydkristalle beginnen, wobei aus den vorhandenen engen Poren das Wasser nicht entweichen und so auf hydrothermalem Wege Böhmit entstehen kann. Die Verfasser vermuten mit anderen Autoren, daß dabei die Größe der Kristallite eine entscheidende Rolle spielt: Große Kristallite geben Böhmit neben Oxyd, kleine (etwa 1 μ und darunter) nur Oxyd. Andererseits wird ein gewisser Na_2O-Gehalt der Ausgangspräparate für das Auftreten des Böhmits verantwortlich gemacht[3]). Daß die Trihydroxyde in vielen Fällen nach der Reaktion Böhmit und Oxyd nebeneinander enthalten, kommt nach BROWN, CLARK und ELIOTT[4]) so zustande, daß bei der Entwässerung zunächst teilweise Böhmit auftritt; bei etwas erhöhter Temperatur wandelt sich das restliche Trihydroxyd nur in Oxyd um.

Bei allen bisher bekannten Experimenten muß aber damit gerechnet werden, daß bei den verhältnismäßig langen Erhitzungszeiten zwei Vorgänge hintereinander ablaufen, die röntgenographisch nicht zu erfassen sind. Wir haben deshalb die kinematische Elektronenbeugung nach BÖTTCHER und THUN[5]) angewendet. Diese gestattet, in jedem Augenblick Veränderungen der erhitzten Präparate festzustellen. Bei dieser Methode trifft der Elektronenstrahl auf eine sich kontinuierlich unter dem Spalt bewegende Photoplatte. Man erhält daher keine Beugungsringe, sondern Beugungslinien, aus deren Verlauf man die eventuell auftretenden Gitterumwandlungen während der Erhitzung[6]) gut ablesen kann[7]).

Das Beugungsdiagramm des Hydrargillits bleibt bis 140° C unverändert. Von dieser Temperatur an werden die Linien auffallend schwächer und sind bei 160° verschwunden. Bei 140° beginnt die erste Interferenz einer neuen Phase aufzutreten, die mit ihren Linien ab 160° allein vorhanden ist. Diese neue Phase ist Böhmit, da alle starken und mittelstarken Reflexe dieser Modifikation im Beugungsbild erscheinen[8]). Ab 360 bis 380° ist eine weitere Umwandlung zu beobachten. Bei der Vermessung der Netzebenenabstände bei 500° erhält man die d-Werte der ε-Oxydphase, die wir schon früher beschrieben haben[9]).

Beim Bayerit war aus den kleinsten Teilchen durch die Präparation bereits Böhmit entstanden, da die Trägerfolien bei 70° getrocknet wurden. In der Beugungsfigur findet man nur die starken Linien eines erheblich gittergestörten Böhmits, die sich bis 360° nicht verändern. Ab 360° tritt dann die η-Oxydphase auf, die man auch dann erhält, wenn als Ausgangsmaterial Böhmit gewählt wird.

Unsere Versuche zeigen, daß Böhmit das primäre Entwässerungsprodukt von Hydrargillit und Bayerit ist und daß die weiter oben beschriebenen Ansichten verschiedener Autoren über Mechanismus und Verlauf der Dehydratation der Trihydroxyde nicht richtig sein können. Auch können wir die Angabe von PAPÉE und TERTIAN[10]) nicht bestätigen, daß Hydrargillit im Vakuum in eine ϱ-Oxydphase übergehen soll, die nur eine Röntgeninterferenz liefert.

Aus den Elektronenbeugungsaufnahmen geht eindeutig hervor, daß z. B. das Hydrargillitgitter bei der thermischen Zersetzung nicht zu einer amorphen Phase zusammenbricht, sondern daß in jenem Gitter gesetzmäßig angeordnete Keime von Böhmit entstehen müssen, die schließlich zu einer Pseudomorphose von Böhmit nach Hydrargillit führen. In gleicher Weise erhält man aus Bayerit eine Pseudomorphose des Böhmits nach Bayerit. Die je nach Ausgangstrihydroxyd verschieden angeordneten Böhmitkristallite mit entsprechend charakteristischen Gitterbaufehlern gehen bei weiterer Erhitzung unterschiedliche Kondensationen der OH-Gruppen ein, so daß der Reaktionsablauf Hydrargillit→Böhmit→ε-Oxydphase[11]) bzw. Bayerit→Böhmit→η-Oxydphase verständlich wird. Die Eigenheit dieser topochemischen Reaktionen bleibt bei den noch folgenden Umwandlungen bei höherer Temperatur erhalten, da es in keinem Falle zu einem vollständigen Zusammenbruch des Gitters kommt. Sie ist erst mit dem Auftreten von α-Al_2O_3 beendet.

Die ausführliche Veröffentlichung erfolgt in einer Fachzeitschrift.

Die kinematischen Elektronenbeugungsaufnahmen wurden bei der Firma Degussa AG., Hanau a. M., angefertigt. Wir danken bestens für die gewährte Gastfreundschaft und besonders Herrn Dr. LOEBICH für seine stete Unterstützung.

Göttingen, Anorganisch-Chemisches Institut der Universität

OSKAR GLEMSER und GERHARD RIECK

Eingegangen am 13. Februar 1957

[1]) DAY, M. K. B., u. V. J. HILL: Nature [London] **170**, 539 (1952).
[2]) CHATELAIN, P.: C. R. Acad. Sci. Paris **241**, 46 (1955).
[3]) BOER, J. H. DE, J. M. H. FORTUIN u. J. J. STEGGERDA: Proc. Kon. nederl. Akad. Wetensch., Ser. B **57**, 434 (1954).
[4]) BROWN, J. F., D. CLARK u. W. W. ELIOTT: J. Chem. Soc. [London] **1953**, 84.
[5]) BÖTTCHER, A., u. R. THUN: Z. anorg. u. allg. Chem. **283**, 26 (1956).
[6]) Die reinsten, sehr feinteiligen, aber gut kristallisierten Hydroxyde wurden auf die mit Kollodiumhäutchen versehenen Objektblenden gebracht. Anschließend wurde die Präparierung durch das elektronenmikroskopische Bild kontrolliert. Die Hydrargillitkriställchen waren maximal 5000 Å, die Bayeritkriställchen 200 bis 1000 Å groß. Beide gaben scharfe Elektronenbeugungsbilder. Ohne Erhitzung der Präparate wurde keine Veränderung im Elektronenstrahl festgestellt.
[7]) Es wurde jedes Präparat mit verschiedenen Erhitzungsgeschwindigkeiten studiert. Zum Beispiel Hydrargillit mit 3,2; 7; 9; 14,8 und 15,1°/min.
[8]) Die mittelstarken Reflexe $d = 3{,}05$ und 2,25 Å sind wegen der Untergrundschwingung in der Nähe des Primärstrahls nicht zu erkennen.
[9]) GLEMSER, O., u. G. RIECK: Angew. Chem. **67**, 652 (1955).
[10]) PAPÉE, D., u. R. TERTIAN: Bull. Soc. chim. France **1955**, 983.
[11]) Das in diesen Oxyden noch enthaltene Wasser ist in Form von OH-Gruppen gebunden. Vgl. O. GLEMSER u. G. RIECK: Angew. Chem. **68**, 182 (1956).

Kinetics of the Oxidation of Thiocyanate by Hydrogen Peroxide

KASTLE and SMITH[1]) first studied the kinetics of the oxidation of thiocyanic acid by hydrogen peroxide: $HSCN + 3\,H_2O_2 \rightarrow H_2SO_4 + HCN + 2\,H_2O$. They measured at regular time intervals the acidity of the system and observed the reaction to follow a termolecular course. Since the scope of the above method was restricted to aqueous solutions only, a reinvestigation of this problem was thought desirable. A measured amount of potassium or ammonium thiocyanate solution was mixed with a known acidified (H_2SO_4) solution of hydrogen peroxide at a desired constant temperature. 5 ml portions of the reaction mixture were titrated against standard permanganate in the initial presence of a slight excess of silver nitrate. The latter precipitates the sparingly soluble silver thiocyanate and eliminates the possible interference of SCN′ in the permanganometry of hydrogen peroxide[2]).

Results of a series of experiments carried out at different temperatures and with varying concentrations of the reactants and of the acid revealed that the oxidation of thiocyanate by hydrogen peroxide in acid solutions is a second-order process in accordance with the equation, $dx/dt = k\,[H_2O_2]\,[SCN']$. Perhaps the overall reaction proceeds in two consecutive steps: 1. the slow formation of an intermediate complex by the interaction of a molecule each of hydrogen peroxide and thiocyanate which may be represented as $HSCN + H_2O_2 \rightarrow [HSCN \cdot O] + H_2O$, and 2. the rapid oxidation of the above complex by hydrogen peroxide into the final products: $[HSCN \cdot O] + H_2O_2 \rightarrow H_2SO_3 + HCN$ and $H_2SO_3 + H_2O_2 \rightarrow H_2SO_4 + H_2O$. Further work on the reaction mechanism is in progress.

My sincere thanks are due to Prof. S. S. JOSHI for research facilities.

Chemical Laboratories, Banaras Hindu University, Banaras (India)

B. R. SANT

Eingegangen am 16. Februar 1957

[1]) KASTLE, J. R., and C. R. SMITH: Amer. Chem. J. **32**, 376 (1904).
[2]) SANT, B. R.: Anal. chim. Acta **15**, 413 (1956).

Zur Bestimmung der Sorbinsäure und ihrer Salze

Sorbinsäure $CH_2-CH=CH-CH=CH-COOH$ findet als Konservierungsmittel immer mehr Anwendung, neuerdings wird ihr konservierender Effekt bei Lebensmitteln der verschiedensten Art überprüft. In diesem Zusammenhang erhebt

sich die Frage nach ihrer mengenmäßigen Bestimmung. Bisher wurde die Sorbinsäure an Hand ihres Absorptionsspektrums spektralphotometrisch bestimmt, wobei sich die von MELNICK und LUCKMANN[1]) aufgestellte Eichkurve gut bewährte. Eine wäßrige Sorbinsäurelösung wird in 0,5 cm Quarzküvetten gemessen und weist eine Extinktion bei den Wellenlängen 256 mμ und 262 mμ auf. Die Erfassung der Sorbinsäure nach dieser physikalischen Methode bedeutet bei reinen Sorbinsäurelösungen keine Schwierigkeiten. Dagegen treten aber solche auf, wenn Sorbinsäure aus biologischen Lösungen isoliert und quantitativ bestimmt werden soll. Für diesen Fall hat sich eine Farbreaktion mit Methyl-mercaptobenzthiazol-p-äthyltoluolsulfonat gut bewährt. Dabei müssen genaue Arbeitsbedingungen eingehalten werden, damit die Farbreaktion einheitlich auftritt und der gebildete Farbton quantitativ ausgewertet werden kann. Man verfährt zweckmäßigerweise so, daß die zu untersuchende sorbinsäurehaltige wäßrige Lösung mehrmals mit Äther ausgeschüttelt wird; dann wird der Äther abgedampft, der Rückstand im Exsikkator getrocknet und anschließend in 5 ml Essigsäureanhydrid gelöst. 1 ml dieser Lösung wird in einem Reagenzglas mit 30 mg Methylmercaptobenzthiazol-p-äthyltoluolsulfonat und 50 mg entwässertem Natriumacetat versetzt und unter ständigem Umrühren in einem Ölbad 15 min lang bei 135° C erhitzt. Die Reaktionslösung wird mit 10 ml Methanol verdünnt und nach dem Erkaltenlassen im Spektralphotometer gemessen. Die günstigste Absorption liegt bei 652 mμ. Als günstigste Schichtdicke wurden 0,25 cm ermittelt. Auf diese Weise ist es möglich, an Hand einer aufgestellten Eichkurve Sorbinsäuremengen von 0,1 bis 1,2 mg quantitativ zu bestimmen.

Unterschiedliche Werte werden erhalten, wenn bei der Aufstellung der Eichkurve an Stelle von Methanol Äther (wasserfrei) oder Äther (handelsüblich) verwendet wird.

Über die Anwendung dieser Arbeitsmethode zur quantitativen Bestimmung von Sorbinsäure in Lebensmitteln wird an anderer Stelle berichtet.

Universitäts-Institut für Lebensmittelchemie, Frankfurt a. M., Paul-Ehrlich-Straße 40

W. DIEMAIR, K. FRANZEN und A. SIEGLITZ

Eingegangen am 15. Februar 1957

[1]) MELNICK, D., u. F. LUCKMANN: Food Res. **20**, 649 (1955).

Hydrophobisation von Chromatographie-Papier mit Silonit

Silonit Cl. H. 2 (Äthylchlorsilan) ist ein geeignetes Mittel zur beliebigen Hydrophobisation der in der Chromatographie zur Anwendung gelangenden Filtrierpapiere. Zur Imprägnation wird die Hexanlösung des Silonits verwendet. Die Filtrierpapierstreifen werden mit dieser Lösung durchtränkt und dann bei 30 bis 40° C getrocknet. Die aus dem Silonit freiwerdende Salzsäure wird durch Auswaschen mit Methylalkohol entfernt, die Streifen werden erneut getrocknet. Das Trocknen erfolgt am besten in horizontaler Lage.

Mit einer 8%igen Silonitlösung ist vollständige Hydrophobisation zu erzielen, während 1%ige Lösungen nicht imprägnieren. Bei den 1 bis 8%igen Lösungen ist die Hydrophobisation linear gesteigert. Die Hydrophobisation mit der beschriebenen Methode ist äußerst schnell durchführbar. Das Trocknen nimmt wegen der Verwendung hochtensierter Lösungsmittel einige Minuten in Anspruch.

Biochemisches Institut der Medizinischen Universität, Szeged, Ungarn

ENDRE KOVÁCS

Eingegangen am 20. Februar 1957

Über einige neue silicium-organische Verbindungen

KANNEBLEY und SCHAAFS[1]) berichteten vor einiger Zeit über „Schallgeschwindigkeit und Konstitution in Silicium-organischen Verbindungen". In dieser Arbeit sind einige bisher nicht beschriebene silicium-organische Verbindungen durchgemessen, die wir zu diesem Zweck dargestellt haben. Es handelt sich um die im folgenden beschriebenen 8 Verbindungen. Die Darstellung erfolgte nach den in der silicium-organischen Chemie üblichen Verfahren.

Tetra-i-propoxy-silan. Zu 4,4 Mol Isopropylalkohol wurden unter gutem Rühren 1 Mol Silicium-tetrachlorid zugetropft. Nach dem Eintropfen wurde 1 Std am Rückfluß gekocht und nach dem Abkühlen zum Binden der letzten Chlorwasserstoffreste mit etwas Natriumalkoholatlösung versetzt. Das Reaktionsprodukt wurde im Vakuum destilliert. $Sdp._{12}$ 72°; d_4^{20} 0,8750; n_D^{20} 1,3860; Ausbeute 80% d. Th. — $C_{12}H_{28}O_4Si$ (264,8). Ber. C 54,50; H 10,70; Si 10,60. Gef. C 54,70; H 10,60; Si 10,52.

Tetra-i-butoxy-silan. Darstellung analog der vorstehenden Verbindung. $Sdp._{14}$ 128°; d_4^{20} 0,8872; n_D^{20} 1,4080; Ausbeute 73% d. Th. — $C_{16}H_{36}O_4Si$ (320,5). Ber. C 60,00; H 11,32; Si 8,74. Gef. C 60,00; H 11,10; Si 8,70.

Methyl-triäthoxy-silan. Diese Verbindung wurde dargestellt durch Einleiten von Methyl-trichlor-silan in absoluten Alkohol. Die Ausbeute ist nahezu quantitativ. $Sdp._{760}$ 143°; d_4^{20} 0,8955; n_D^{20} 1,3852. — $C_7H_{18}O_3Si$ (178,3). Ber. C 47,15; H 10,16; Si 15,76. Gef. C 47,30; H 10,10; Si 15,71.

Methyl-tri-[β-äthoxyäthoxy]-silan. Darstellung analog der Äthoxyverbindung. $Sdp._{12}$ 156°; d_4^{20} 0,9922; n_D^{20} 1,4210; Ausbeute 85% d. Th. — $C_{13}H_{30}O_6Si$ (310,4). Ber. C 50,27; H 9,76; Si 9,05. Gef. C 50,40; H 9,60; Si 9,02.

Dimethyl-di-[β-äthoxyäthoxy]-silan. Aus Dimethyl-dichlor-silan und Glykol-mono-äthyläther analog der Darstellung des Tetra-i-propoxy-silans. $Sdp._{13}$ 106°; d_4^{20} 0,9384; n_D^{20} 1,4144; Ausbeute 78% d. Th. — $C_{10}H_{24}O_4Si$ (236,4). Ber. C 50,78; H 10,24; Si 11,89. Gef. C 50,90; H 10,20; Si 11,94.

Dimethyl-dibutyl-silan. Dargestellt durch Umsetzung der vorstehenden Verbindung mit einer ätherischen Lösung von Butyl-magnesium-bromid in Äther. Die Grignard-Verbindung wurde in einem 30%igem Überschuß angewandt. Aufarbeitung wie üblich. $Sdp._{11}$ 77°; d_4^{20} 0,7630; n_D^{20} 1,4265; Ausbeute 56% d. Th. — $C_{10}H_{24}Si$ (172,4). Ber. C 69,66; H 14,04; Si 16,30. Gef. C 69,60; H 14,00; Si 16,36.

Tripropyl-methoxy-silan. Bei der Umsetzung von Propyl-magnesium-bromid in siedendem Äther mit Silicium-tetrachlorid erfolgt der Austausch des letzten Chloratoms außerordentlich träge. Verwendet man nur 3 Mol Grignard-Verbindung und versetzt nach dem Abklingen der Reaktion mit Methanol und kocht 5 Std am Rückfluß, so werden 3 Chloratome durch Propyl und ein Chloratom durch Methoxyl substituiert. $Sdp._{12}$ 83°; d_4^{20} 0,8216; n_D^{20} 1,4276; Ausbeute 60% d. Th. — $C_{10}H_{24}OSi$ (188,4). Ber. C 63,72; H 12,86; Si 14,92. Gef. C 63,80; H 12,70; Si 14,97.

Dimethyl-i-propyl-[β-äthoxyäthoxy]-silan. Durch Umsetzung von Isopropyl-magnesium-bromid mit Dimethyl-di-[β-äthoxyäthoxy]-silan in siedendem Äther. Auch durch langes Kochen und überschüssige Grignard-Verbindung gelingt es nicht, die zweite Äthergruppe auszutauschen. $Sdp._{760}$ 183°; d_4^{20} 0,8494; n_D^{20} 1,4148; Ausbeute 55% d. Th. — $C_9H_{22}O_3Si$ (190,3). Ber. C 56,80; H 11,63; Si 14,76. Gef. C 56,70; H 11,60; Si 14,79.

Organisch-Chemisches Institut der Technischen Universität, Berlin

FRIEDRICH NERDEL und GÜNTHER KANNEBLEY

Eingegangen am 23. Februar 1957

[1]) KANNEBLEY, G., u. W. SCHAAFS: Acustica **4**, 661 (1954).

Chelate von Diarylborsäuren mit aliphatischen Oxyalkylaminen als Reagenzien für den Nachweis von Oxyphenyl-benzo-γ-pyronen *)

Die Eigenschaft der vor kurzem von R. NEU beschriebenen Reagenzien, der Tetraaryl-diboroxyde, ist es, unter anderem Oxyderivate von Phenyl-benzo-γ-pyronen anzuzeigen[1]), und die sich aus den unterschiedlichen Farbtönen ergebende Möglichkeit, konstitutionelle Aussagen über die genannte Stoffklasse zu machen[1a]), bleibt auch in den mit aliphatischen Oxyalkylaminen entstehenden Estern erhalten. Die von R.L. LETSINGER, I.G. SKOOG und N. REMES[2]) sowie von C.S. RONDESTVEDT jr., R.M. SCRIBNER und C.E. WULFMAN[3]) verwendeten Oxyalkylamine und die von R. NEU[1b]) verwendeten 8-Oxychinoline enthalten dieselbe chelatbildende Atomgruppierung (HO—C—C—N=). Der sichtbare Unterschied besteht darin, daß die mit den aliphatischen Oxyaminen gebildeten Ester farblos sind, während die mit 8-Oxychinolinen gebildeten eine kräftige gelbe Eigenfarbe aufweisen und sehr stark fluoreszieren. Den aliphatischen und den heterozyklischen Chelaten ist eine praktisch unbegrenzte Haltbarkeit gemeinsam, die für die Diarylborsäuren bzw. ihre Anhydride herabgesetzt ist; sie können aus den Chelaten durch saure Hydrolyse gewonnen werden.

Die aus Diarylborsäuren und aliphatischen Oxyalkylaminen gebildeten Ester zeigen als Reagenzien dieselbe generelle Brauchbarkeit bei der analytischen Anwendung wie die aromatischen Borsäuren bzw. ihre Anhydride. Damit wird der Einsatz der aromatischen Borsäuren als Reagenzien wesentlich erleichtert. Die Verwendung der Ester im Vergleich zu den

freien Säuren ist ohne Einfluß auf den Nachweis der Oxyderivate vom Phenyl-benzo-γ-pyron, und die Unterschiede zwischen den verschiedenen Derivaten sind in gleicher Weise signifikant.

Chemisches Forschungslaboratorium der Firma Dr. Willmar Schwabe G.m.b.H., Karlsruhe

RICHARD NEU

Eingegangen am 21. Januar 1957

*) IX. Mitt.: Über aromatische Borverbindungen; VIII. Mitt. vgl. Z. analyt. Chem. 151, 328 (1956).

[1]) NEU, R.: Chem. Ber. 87, 802 (1954). — a) Naturwiss. 43, 82 (1956). — b) Z. analyt. Chem. 142, 335 (1954).

[2]) LETSINGER, R.L., I.G. SKOOG u. N. REMES: J. Amer. Chem. Soc. 77, 2489 (1955).

[3]) RONDESTVEDT jr., C.S., R.M. SCRIBNER u. C.E. WULFMAN: J. Org. Chemistry 20, 9 (1955).

Beobachtungen über die Reaktion zwischen Oxytetracyclin und Methyljodid

Bei unseren Versuchen, deren Zweck die Herstellung der quaternären Derivate des Oxytetracyclins war, wurde in Dimethylformamidlösung mit Butylbromid und Benzylchlorid keine Reaktion beobachtet. Wenn diese Reaktion dagegen in demselben Medium mit Methyljodid durchgeführt wurde, schied sich nach 24 bis 48stündiger Reaktionsperiode ein in schönen Blättern kristallisierendes Produkt aus. Die mit Alkohol/Äther gewaschenen Kristalle wurden auf Grund des hohen Jod-Gehaltes (J 63,30%) und der analytischen Daten als Tetramethylammoniumjodid identifiziert. Ber.: C 23,89%; H 5,98%; N 6,98%; J 63,14%. Gef.: C 24,07, 24,21; H 5,98, 6,11; N 6,72, 6,66; J 63,30, 63,11%.

Da anzunehmen war, daß das Tetramethylammoniumjodid bei der Reaktion aus dem im Lösungsmittel als Verunreinigung anwesenden oder von der Lösungsmittelmolekel abgesplitterten Dimethylamin und Methyljodid entstand, wurde die Umwandlung in verschiedenen Lösungsmitteln durchgeführt, so z.B. in Dioxan, Essigsäure und Ameisensäure. In diesen Lösungsmitteln wurde zwischen Oxytetracyclin und Methyljodid keine Reaktion beobachtet. Es war nur eine gewisse Inaktivisierung des Oxytetracyclins bemerkbar.

Wenn Diäthylformamid als Lösungsmittel verwendet wurde, bildete sich Tetramethylammoniumjodid mit derselben Ausbeute. Das diente als Beweis dafür, daß Tetramethylammoniumjodid aus Oxytetracyclin mittels Methyljodid entstand. Ebenso war Tetramethylammoniumjodid das Reaktionsprodukt, wenn die Reaktion in gleicher Weise, aber in Äthylenglycolmonomethyläther durchgeführt wurde.

Es wurde von uns vorausgesetzt, daß bei Addition eines Mols Methyljodid an die Dimethylaminogruppe des Oxytetracyclins letzteres in das entsprechende Quaternärsalz übergeht. Nachher bildet sich aus der so entstandenen Verbindung unter Abspaltung einer Molekel Trimethylaminjodhydrat ein ungesättigtes Desdimethylaminoderivat des Oxytetracyclins. Das an der Reaktion noch nicht beteiligte und amphoter eigenartige Oxytetracyclin bindet das Jodhydrogen, während das Trimethylamin mit einer weiteren Molekel Methyljodid in Tetramethylammoniumjodid übergeht. Wir erwähnen noch, daß unter gleichen Versuchsbedingungen die Bildung des Tetramethylammoniumjodids aus Chlortetracyclin in beträchtlicher Menge nicht bemerkbar war.

Es ist von früher bekannt, daß aus Oxytetracyclin in essigsaurem Medium mit Zinkstaub wegen reduktiver Wirkung Dimethylamin entsteht. Dort[1]) wird erwähnt, daß bei der mit Diazomethan durchgeführten Ätherifizierung des Oxytetracyclins neben dem Dimethylderivat in überwiegender Menge ein amorphes, wasserlösliches Produkt entsteht, aus welchem durch Wirkung verdünnter Alkalien Trimethylamin freigesetzt wird. Über die Natur des besprochenen Produktes geben die Autoren keine nähere Erklärung.

Während unserer Versuche erschien die Arbeit von STEPHENS und seinen Mitarbeitern[2]), in welcher die mit Diazomethan durchgeführte Ätherreaktion wieder erwähnt wurde mit der Feststellung, daß dabei neben Ätherbildung ein Quaternäramin aus Oxytetracyclin entsteht.

Wir meinen, daß die geschilderten Beobachtungen deshalb interessant sind, weil in der von uns geprüften Reaktion die Bildung des Trimethylamins aus dem intermediären Quaternäraminsalz spontan und unter ganz milden Bedingungen (bei Zimmertemperatur und in neutraler Lösung) bemerkbar war.

Forschungsinstitut für die Pharmazeutische Industrie, Budapest

M. BODÁNSZKY, E. WEISZ und L. SZABÓ

Eingegangen am 21. Januar 1957

[1]) HOCHSTEIN, F.A., u. Mitarb.: J. Amer. Chem. Soc. 75, 5455 (1953).

[2]) STEPHENS, C.R., K. MURAI u. Mitarb.: J. Amer. Chem. Soc. 78, 4155 (1956).

Von den „Aktivatoren" der Kohlensäureanhydratase (KA)

LEINER und LEINER[1]) teilten 1940 mit, daß KA-Lösungen nach mehrtägigem Dialysieren an Wirksamkeit verlieren, daß aber die ursprüngliche Wirksamkeit fast wiederhergestellt werde, wenn die durch Erhitzen stark eingeengte Außenflüssigkeit zur Fermentlösung wieder hinzugefügt würde. Die alte Wirksamkeit werde aber auch wiedergewonnen durch Zusatz einer Reihe von Gewebeextrakten und vor allem von Cystein, Glutathion, Histidin oder Histamin. Ja, die KA-Lösung werde durch die letzteren Verbindungen häufig sogar über die ursprüngliche Wirksamkeit hinaus erhöht, und eine nichtdialysierte KA-Lösung werde oft durch solche Zusätze stark „aktiviert". Wegen aller dieser Umstände und weil die dialysierten KA-Lösungen nie ganz inaktiviert waren, sprachen LEINER und LEINER von „Aktivatoren" und nicht von „Co-Faktoren". VAN GOOR[2]) teilte 1943 mit, daß es ihm mit Hilfe von Adsorption an sekundäres Calciumphosphat gelungen sei, einen thermostabilen Co-Faktor von der KA zu trennen. Nach Zugabe der eluierten thermostabilen Verbindung zu der nur schwach aktiven, mit Calciumphosphat behandelten Fermentlösung konnte die ursprüngliche Wirksamkeit fast ganz wiederhergestellt werden. Durch Elektrodialyse und nach der Methode von VAN GOOR konnte KELLER[3]) die Aktivität seiner KA-Lösungen ebenfalls herabsetzen. Es gelang ihm, den thermostabilen „Co-Faktor" aus seinen Fermentpräparaten in größerer Menge zu lösen und papierchromatographisch zu identifizieren. Er bestand nach KELLER aus einem Teil Glyzin und zwei Teilen Glutaminsäure; auf 3 Aminosäurereste kam 1 Atom Zink.

Durch Elektrodialyse konnten wir jetzt stark verdünnte Fermentlösungen ganz unwirksam machen. Es wurde die Dehydratation der Kohlensäure gemessen mit Hilfe eines modifizierten Meldrum-Roughton-Manometers[4]). Nach Zusatz von jeweils einer der folgenden Substanzen: Histidin, Histamin, Cystein oder Glutathion zu der inaktivierten KA-Lösung tritt die ursprüngliche Aktivität zum großen Teil oder fast ganz wieder auf. Die gleich nach dem Zusatz noch schwache Aktivität steigert sich innerhalb einiger Stunden sehr. Die vier genannten Verbindungen reaktivieren ein und dieselbe dialysierte Fermentlösung in der Regel verschieden stark. Histamin wirkt am stärksten. Die Reaktivierung ist auch verschieden stark je nach den Bedingungen beim Elektrodialysieren. Unter bestimmten Bedingungen ist Cystein unwirksam. Sind nun Histidin, Histamin, Cystein und Glutathion „Co-Faktoren" oder „Aktivatoren" oder keines von beiden?

Es wurde ein hochgereinigtes Fermentpräparat aus Rinder-Erythrozyten verwendet, dessen Aktivität vor der Elektrodialyse sich bei der gewählten Meßmethode nicht steigern ließ durch Zugabe von Histidin, Histamin oder Glutathion. Cystein verursachte sogar eine leichte Hemmung.

Die von LEINER und LEINER, MAINE und LOCKE, VAN GOOR, BAKKER und KIESE gefundene „Aktivierung" der KA durch Histidin usw. wird angezweifelt von CLARK und PERRIN[5]) und von ROUGHTON und CLARK. Sie halten nach ihren Meßergebnissen Cystein, Glutathion, Histidin und Histamin für Stabilisatoren der KA (zum Schutze gegen Fermentgifte), finden aber, daß Pepton viel stärker stabilisiert als die genannten Verbindungen. Pepton reaktiviert elektrodialysierte inaktive KA nach unsern Versuchen nicht, es ist auch als Stabilisator unwirksam bei der von uns benutzten manometrischen Meßmethode, die nur eine bis einige Minuten dauert. Pepton hemmt sogar die Reaktivierung des inaktiven Fermentes durch Histidin usw. Der Einfluß von Pepton auf die KA-Aktivität *in vitro* unterscheidet sich also grundlegend von der Wirkung der vier genannten Verbindungen. Dagegen wird die dialysierte inaktive Fermentlösung reaktiviert durch enteiweißten wäßrigen Extrakt aus der Pylorusschleimhaut des Hundes.

Die Reaktivierung elektrodialysierter KA-Lösungen wird nach einigen Anzeichen nicht allein oder nicht in erster Linie hervorgerufen durch die komplex-bildende Eigenschaft der genannten „Aktivatoren" mit Schwermetallen. Äthylendiamintetraessigsaures Natrium kann eine Reaktivierung nicht bewirken, während es ebenso wie andere Komplexbildner (z. B. Dithizon, Histidin und Cystein) durch Schwermetallsalze teilweise gehemmte KA wieder hochaktiv machen kann (besonders KA aus dem Blut von Vögeln und niederen Wirbeltieren). Histidin, Histamin, Cystein und Glutathion können also in doppelter Weise auf die KA einwirken. Wenn man die hemmenden Metallionen, Silber-, Quecksilber(2)-, Kupfer(2)- und in viel geringerem Maße auch Zink- und Blei-Ionen genügend lange auf die KA einwirken läßt, kann man eine durch Histidin usw. aufhebbare Hemmung von einer irreversiblen Hemmung unterscheiden.

Die durch Cystein oder Histidin reaktivierte elektrodialysierte KA-Lösung aus Rinderblut wird durch den Inhibitor im Schafblut bei der manometrischen Dehydratationsmessung genau so vollständig gehemmt wie eine nicht-dialysierte KA-Lösung.

Tierphysiologische Abteilung am Chemischen Institut der Universität, Mainz

M. LEINER

Eingegangen am 11. Februar 1957

[1]) LEINER, M., u. G. LEINER: Biol. Zbl. **60**, 449 (1940).
[2]) GOOR, H. VAN: Onderz. Physiol. Lab. Utrecht Hoogesch. **8**, III, 80 (1943).
[3]) KELLER, H.: Hoppe-Seylers Z. physiol. Chem. **299**, 104 (1955).
[4]) MELDRUM, N.U., u. F.J.W. ROUGHTON: J. Physiology **80**, 113 (1933).
[5]) CLARK, A.M., u. D.D. PERRIN: Biochemic. J. **48**, 495 (1951).

Effect of X-rays on the Content of Tree Amino Acids and Amides of Cicer Arietinum T 87 Seedlings

The investigation deals with the effect of X-rays (450 r given at the rate of 30 r/min from an X-ray therapy model maintained at 120 kV and 4 mAmps, using aluminum as filter) on the content of free amino acids and amides of Cicer seedlings. Three sets of one day old seedlings were irradiated; and then frozen at $-5°$ C after keeping them at room temperature ($24 \pm 1°$ C) for one hour. 80% ethyl alcohol extracts were assayed chromatographically using RANJAN et al's technique[1]). All the amino acids and amides were confirmed by two dimensional chromatography using butanol:acetic acid: water (4:1:5) and phenol saturated with water as solvents. Semi quantitative measurements were made with a Photovolt electronic densitometer. A metal cover with a pinhole was used as the slit and measurements were directly made on the "bisector area" of each sector (table 1).

We are lead to conclude that asparagine and glutamic acid increased significantly whereas alanine decreased remarkably. Besides these, others also showed variations (cf. table 1), but no significant difference was observed in the total content of free amino acids and amides. No clue could be obtained as to the mechanism of this effect.

Table 1. *Relative content (expressed in arbitary units, calculated after converting densitometric readings to Logs of densities) of amino acids or amides identified (with average R_f value)*

Band	Amino acid or amide (with average R_f value)	Relative content		
		Control	X-rayed	Diff.
1	Leucines (0·80)	32	20	− 12
2	Phenylalanine (0·78)	32	25	− 7
3	Valine + methionine[a]) (0·72)	30	36	+ 6
4	Unidentified band (0·69)	11	4	− 7
5	Tyrosine (0·60)	36	20	− 16
6	γ Aminobutyric acid (0·53)	4	8	+ 4
7	Alanine (0·45)	34	11	− 23
8	Glutamic acid + Threonine[b]) (0·38)	38	62	+ 24
9	Aspartic acid, glycine, serine + glutamine (0·32)	28	41	+ 13
10	Asparagine (0·23)	38	66	+ 28
	Total	283	293	+ 10

a) Presence of methionine is considered doubtful. No claim is made for the absence of other amino acids which might be present in very low quantities. b) Variation in this band is due to glutamic acid only. (Chromatograms run with MCFARREN's technique[2]), using phenol buffered with buffer of p_H 12, showed no variation in threonine).

Acknowledgements. I am highly indebted to Prof. SHRI RANJAN, M. Sc. (Cantab.), D. Sc. (State France), F. N. I. for his guidance and laboratory facilities. My thanks are also due to Dr. G. GHOSH for his help in irradiating seeds and to SARVASHRI M.M. LALORAYA, T. RAJARAO and B.K. MALVIYA for their help otherwise. KUMARI RAJNI deserves credit for confirming some of the amino acids.

Department of Botany, University of Allahabad, India, and Department of Botany, University of Illinois, Urbana, Illinois, U.S.A. (present address) GOVINDJEE

Eingegangen am 21. Februar 1957

[1]) RANJAN, S., GOVINDJEE and M.M. LALORAYA: Proc. Nat. Inst. Sci. India B **1**, 42 (1955).
[2]) MCFARREN, E.F.: Anal. Chem. **23**, 168 (1951).

Über petrolätherlösliche Bestandteile des getrockneten Rhizoms von Apocynum cannabinum

Die petrolätherlöslichen Bestandteile des Rhizoms von Apocynum cannabinum sind bisher wenig untersucht worden. GRISCOM[1]) fand 1833 als erster Kautschuk, NEUGEBAUER und BRUNNER[2]) isolierten 1937 aus im Herbst gesammelten Rhizomen 1,6% fettes Öl ohne nähere Angaben der Zusammensetzung. Andere Bestandteile werden nicht beschrieben.

Bei einer neuen Aufarbeitung getrockneter Rhizome von Apocynum cannabinum L. var. glaberrimum A. DC. wurden 2,81% petrolätherlösliche Substanzen extrahiert. Nach Abscheidung des „Rohkautschuks" ließen sich aus dem Petrolätherauszug folgende Substanzen isolieren:

1. Oleansäure, weiße Nadeln, Schmp. 308,8 bis 309,9° (korr.). $[\alpha]_D^{20} + 79{,}9°$ in Chloroform ($c = 0{,}7200$). — Daraus: Acetyl-Oleanolsäure, weiße Nadeln, Schmp. 260,5° (korr.); $[\alpha]_D^{20} + 71{,}4°$ in Pyridin ($c = 0{,}8754$). — Oleanolsäure-Methylester, Schmp. 200 bis 202° (korr.). — Acetyl-Oleanolsäure-Methylester, Schmp. 218 bis 220° (korr.).

2. α-Amyrin, derbe Nadeln, Schmp. 183,7 bis 184,2° (korr.); $[\alpha]_D^{20} + 82{,}6°$ in Chloroform ($c = 1{,}3684$). — Daraus: α-Amyrinacetat, Schmp. 220 bis 225° (korr.); $[\alpha]_D^{20} + 81{,}2°$ in Chloroform ($c = 0{,}428$). — α-Amyrinbenzoat, Schmp. 192 bis 194° (korr.).

3. Lupeol, lange Nadeln, Schmp. 210 bis 211°. $[\alpha]_D^{20} + 27{,}7°$ in Chloroform ($c = 1{,}082$). — Daraus: Lupeolacetat, weiße Nadeln, Schmp. 213,5 bis 214° (korr.); $[\alpha]_D^{20} + 42{,}9°$ in Chloroform ($c = 3{,}052$).

Die Fettsäuren wurden nach TWITCHELL in feste und flüssige getrennt. Die papierchromatographische Untersuchung nach WAGNER, ABISCH und BERNHARDT[3]) ergab bei den festen Fettsäuren einen Fleck in Höhe der Palmitinsäure, bei den flüssigen ebenfalls nur einen Fleck in Höhe der Linolsäure (Auswertung gegen authentische Vergleichssubstanzen).

MOORE[4]) hat 1909 aus den Rhizomen von Apocynum *androsaemifolium* eine Substanz isoliert, die er Androsterol nannte (Schmp. 208 bis 210°, $[\alpha]_D + 29{,}9°$; Acetylverbindung Schmp. 212 bis 214°, $[\alpha]_D + 41{,}3°$). Zweifellos hat er ebenfalls Lupeol in den Händen gehabt, das häufig (allein oder mit anderen Triterpenalkoholen zusammen) als Begleiter von Polyterpenen in der Natur vorkommt.

Eine ausführliche Darstellung erscheint demnächst an anderer Stelle.

Forschungslaboratorium des VEB Homöopharm Dr. Willmar Schwabe, Leipzig

C.H. TRABERT*)

Eingegangen am 18. Februar 1957

*) Jetzige Anschrift des Verfassers: Karlsruhe, Emil-Gött-Straße 18.

[1]) GRISCOM, J.G.: Amer. J. Med. Sci., Mai **1833**. Ref. bei H. SCHINDLER, Inhaltsstoffe und Prüfungsmethoden homöopathisch verwendeter Heilpflanzen. Aulendorf 1955.
[2]) NEUGEBAUER, H., u. K. BRUNNER: Hausmitteilungen Firma Dr. Willmar Schwabe **1**, 52 (1937); **2**, 31 (1939).
[3]) WAGNER, H., L. ABISCH u. K. BERNHARDT: Helv. chim. Acta **38**, 1536 (1955).
[4]) MOORE, C.W.: J. Chem. Soc. [London] **95**, 734 (1909).

Zusammenhänge zwischen Nebennierenfunktion und Thyroxinwirkung

Im Jahre 1951 wurde von HOFFMANN und CORI[1]) berichtet, daß bei Ratten nach Thyroxin keine Steigerung des O_2-Verbrauches und der Gesamt-N-Ausscheidung auftritt, wenn vor der Hormonapplikation die Nebennieren entfernt werden. Da dieser Befund für die Diskussion der Wirkungsweise „kataboler

Hormone" besonders bedeutungsvoll sein dürfte, haben wir in Fortführung dieser Versuche die Abhängigkeit der Thyroxinwirkung von den Nebennieren näher untersucht. Gemessen wurde der Grundumsatz (GU) von Ratten im Gewicht zwischen 73 und 80 g. Die Messungen erfolgten mit dem GU-Gerät von „Hartmann & Braun", unter Verwendung kleiner, gasdichter Gefäße, die an das Gerät angeschlossen werden konnten. Wenn die Tiere an diese Gefäße gewöhnt waren, verhielten sie sich ruhig, so daß gute Ergebnisse erhalten wurden.

Versuch 1. Normale Ratten erhielten täglich s.c. 10 γ d,l-Thyroxin/g Körpergewicht (KG). Der GU stieg bis 72 Std nach der ersten Injektion fortlaufend an. Wurden die Tiere

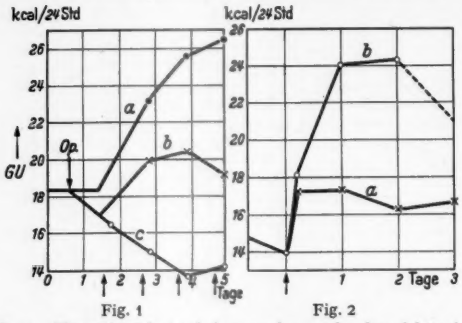


Fig. 1 Fig. 2

Fig. 1. Thyroxinwirkung bei normalen und adrenalektomierten Ratten. *a* Täglich 10 γ d,l-Thyroxin je g KG, normal; *b* dasselbe, adrenalektomiert; *c* adrenalektomiert ohne Thyroxin. *Op.*: Operation, ↑: Injektion

Fig. 2. Thyroxinwirkung bei adrenalektomierten Ratten. *a* Einmalig 10 γ d,l-Thyroxin je g KG; *b* dasselbe + 50 γ Cortisonacetat je g KG. ↑: Injektion

vor Versuchsbeginn adrenalektomiert, trat nur eine geringe, nicht gesicherte Steigerung auf (Fig. 1). — *Versuch 2.* Adrenalektomierte Ratten erhielten 3 Tage nach der Operation einmalig 10 γ d,l-Thyroxin/g KG s.c. Der nach der Operation abgesunkene GU erreichte nicht einmal den Normalwert (18,3 kcal/24 Std). Erhielten die Tiere gleichzeitig Cortison (50 γ Cortisonacetat/g KG), war der Anstieg des GU eindeutig ($p = < 0{,}1\,\%$, Fig. 2). — *Versuch 3.* Normaltiere erhielten einmalig 10 γ d,l-Thyroxin/g KG kombiniert mit 50 γ/g Cortisonacetat. In diesem Falle war die Steigerung des GU etwas geringer als bei ausschließlicher Anwendung von Thyroxin (Fig. 3). Demnach kann der Thyroxineffekt beim Normaltier nicht durch zusätzliche Cortisongabe verstärkt werden. Wurde nun entsprechenden Normaltieren neben der angegebenen Thyroxin- und Cortisondosis SH-Glutathion (3 mg/Tier) und Ascorbinsäure (2 mg/Tier) zugeführt, so trat der Cortisoneffekt wieder auf ($p = 0{,}6\,\%$ nach 48 Std, Fig. 3).

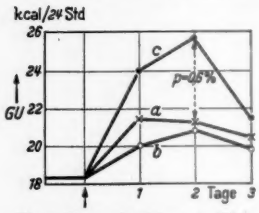


Fig. 3. Thyroxinwirkung bei Normaltieren. *a* Einmalig 10 γ d,l-Thyroxin je g KG; *b* wie bei *a* + 50 γ Cortisonacetat je g KG; *c* wie bei *b* + SH-Glutathion (3 mg/Tier) und Ascorbinsäure (2 mg je Tier). ↑: Injektion

Nach diesen Ergebnissen scheinen die genannten Redoxsysteme zur Wirkungsentfaltung des Cortisons und die Redoxsysteme + Cortison zur Entfaltung der Thyroxinwirkung erforderlich zu sein. Für die adrenalektomierten Tiere könnte eine postoperative Vermehrung von SH-Glutathion und Ascorbinsäure im Gewebe angenommen werden (geringerer Verbrauch der Rezeptorsysteme), so daß bei diesen Tieren die GU-Steigerung auch ohne gleichzeitige Zuführung der Redoxsysteme auftritt.

Die Versuche werden fortgesetzt.

Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft.

Institut für Physiologie und Ernährung der Tiere der Universität, München (*Vorstand: Prof. Dr. Dr.* Jhs. Brüggemann)

Jürgen Schole und Friedrich Funk

Eingegangen am 30. Januar 1957

[1]) Hoffmann, F., O. Cori u. A.T. De Cori: Acta physiol. lat. amer. 1, 84 (1951).

Über das Vorkommen beträchtlicher Mengen Histamin in der niederen Tierwelt

Das *Histamin*, welches seinerzeit der eine[1]) von uns zum erstenmal als Produkt der belebten Natur beschrieben hat, ist bei Vertebraten weit verbreitet. Bei Wirbellosen gelang sein Nachweis vollbefriedigend bisher nur im Bienengift, wo der pharmakologische Nachweis durch Papierchromatographie bestätigt werden konnte. Bei einer Reihe von Meeresavertebraten wurde aus dem pharmakologischen Effekt zwar auf Histamin geschlossen, doch verwandte man hier nur Extrakte der Tiere, die entweder keine oder nur eine unzureichende Vorreinigung erfahren hatten. Papierchromatographie kam damals noch nicht zur Anwendung.

Es ist uns nun gelungen, aus 10 kg des Riesenkieselschwammes (*Geodia* gigas) auf präparativem Wege 6,14 g eines Pikrates zu gewinnen, das im wesentlichen aus Histamindipikrat bestand und aus dem sich das Dichlorhydrat, Dipikrat und Dichloraurat des Histamins in analysenreiner Form darstellen ließ. Die papierchromatographische Untersuchung ergab genau wie bei Histamindichlorhydrat: R_f 0,076 (2043b M. Gl. Butanol:Eisessig:Wasser = 6:1:2. Entwicklung mit Soda-alkalischer Diazobenzolsulfosäure). Die pharmakologische Prüfung am isolierten Meerschweinchendarm ergab im Vergleich mit authentischem Histamin-Dichlorhydrat gleiche Kontraktion, die durch Antihistamin (Avil) unterdrückt werden konnte.

Legt man in Rücksicht auf Verunreinigungen statt 6,14 nur 5 g Histamindipikrat zugrunde, so errechnet sich 1 g freies Histamin aus 10 kg Frischgewicht des Schwammes, das sind 100 mg auf 1 kg, gewiß eine beträchtliche Menge, wenn man bedenkt, daß die tödliche, subkutane Dosis des Histamins pro Kilogramm Tier beim Meerschweinchen nur 3,8 mg beträgt; bei der Katze sind es allerdings 25 bis 100 mg, bei der Ratte 200 mg, beim Frosch sogar 2000 bis 2300 mg, bei der Maus 2300 bis 2700 mg pro Kilogramm.

Eine ähnlich große Menge eines starken tierischen Giftes der niederen Tierwelt ergab sich beim *Tetramin* (Tetramethylamonium-hydroxyd), das seinerzeit Ackermann, Holtz und Reinwein[2]) zum erstenmal in der belebten Natur, und zwar bei *Actinia equina* beschrieben haben. Hier fanden sich 300 mg freies Tetramin in 1 kg Frischgewicht; dabei sind, subkutan verabreicht, unter curareartiger Wirkung bereits tödlich beim Frosch 5 mg, beim Kaninchen 6 bis 8 mg, bei der Maus 20 mg Tetramin pro Kilogramm Körpergewicht. Das Tetramin ist übrigens neuerdings auch in anderen Coelenteraten gefunden.

Interessant ist ferner, daß in demselben Tier auch erhebliche Mengen *Agmatin* vorkommen, wie seinerzeit von unserem Arbeitskreis nachgewiesen wurde (Analysen des Pikrates und Chloraurates). Agmatin und Histamin sind ja beide Decarboxylierungsprodukte von basischen Aminosäuren, das eine vom Arginin, das andere vom Histidin.

Ausführliche Mitteilung folgt in Hoppe-Seyler's Z. physiol. Chem.

Physiologisch-Chemisches Institut der Universität, Würzburg

D. Ackermann und P.H. List

Eingegangen am 13. Februar 1957

[1]) Ackermann, D.: Z. physiol. Chem. 65, 504 (1910). — Z. Biol. 91, 73 (1930). — Dtsch. med. Wschr. 1948, 174.

[2]) Ackermann, D., F. Holtz u. H. Reinwein: Z. Biol. 79, 113 (1923).

Über den Einfluß verschiedener Polyphosphate auf den Kupferstoffwechsel der Ratte

Das Verhalten der Polyphosphate im Säugerorganismus wurde in letzter Zeit verschiedentlich studiert. Untersuchungen mit markierten Verbindungen[1]) ergaben, daß die höherpolymeren Verbindungen nur zu einem geringen Teil aufgespalten und kaum resorbiert werden. Es war deshalb die Frage zu stellen, ob durch ihren Verbleib im Chymus die Resorption essentieller Kationen beeinflußt wird. An Hand ausgedehnter Untersuchungen mit ^{45}Ca-markiertem $CaCl_2$ konnte dies für das Calcium negiert werden. Dabei zeigte es sich, daß Orthophosphat (bei der Ratte) in vergleichbaren Mengen die Calciumresorption stärker als Polyphosphate hemmt[2]). Im Hundeversuch glaubt Schwietzer[3]) eine Resorptionsverminderung von Eisen durch Polyphosphate festgestellt zu haben. Dies konnte von Hupertz und Schreier[4]) bei fünf gesunden Versuchspersonen nicht bestätigt werden. Diese unterschiedlichen Ergebnisse auch im Hinblick auf die Versuche von Jacobi, Pfleger und Rummel[5]) dürften wohl in der jeweils getroffenen Versuchsanordnung begründet liegen.

In obigem Zusammenhang erschien es uns besonders wichtig, das Verhalten von Kupfer in Gegenwart von Polyphosphaten im tierischen Organismus zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurden praktisch trägerfreies ^{64}Cu und verschiedene Phosphate an 35 Ratten nach folgender *Versuchsanordnung* verabreicht: 35 g Magermilchquark wurden mit 140 ml Magermilch homogenisiert. In jeweils 25 ml des Homogenats wurden 175 mg des zu untersuchenden Phosphats gegeben, dann wurde wieder homogenisiert. Jedes Tier erhielt 5 ml (mit 35 mg Phosphat) durch die Schlundsonde. In einer Recordspritze wurde 1 ml einer ^{64}Cu-Acetatlösung entsprechend einer Dosis von 0,1 mg ~ 12,5 µC aufgezogen und den Tieren mit der Schlundsonde verabfolgt. Die Sondierung gelang bei allen Ratten verlustlos, sie wurde auch anstandslos vertragen. Lediglich Tier Nr. 25 lag am Morgen tot im Stoffwechselkäfig. Die Todesursache konnte nicht ermittelt werden.

Alle 35 Ratten wurden in Einzelstoffwechselkäfige gesetzt, nachdem der Anus mit Wundklammern — zur Verhütung der Verunreinigung des Urins mit Stuhl — verschlossen worden war. Nach 18 Std erfolgte die Entblutung der Tiere in der Reihenfolge ihrer Sondierung in Chloroformnarkose und die Aufarbeitung durch ein Team von 6 Personen (die Halbwertzeit von ^{64}Cu beträgt nur 12,6 Std). Der Urin wurde nach mehrfachem Spülen des Auffanggefäßes auf 20 ml mit Aqua dest. aufgefüllt und davon 1 ml zur Zählung verwendet. Vom Serum wurde 1 ml in das Zählschälchen einpipettiert. Von der Leber wurde 1 g mit 5 ml Ringerlösung homogenisiert und 1 ml Homogenat gezählt. Die Bestimmung der Impulszahl geschah mit einem dünnwandigen Fensterzählrohr unter Verwendung des FH 49 von FRIESECKE und HÖPFNER. Es wurden jeweils mindestens 1000 Impulse ausgezählt.

In Tabelle 1 sind die verwendeten Phosphate und die Mittelwerte der Gruppen eingetragen.

Tabelle 1. *Mittelwerte der einzelnen Gruppen* [a])

Je 5 Tiere mit	Gewicht in g	Impulse/Minute/g		Impulse/5 min
		Leber	Serum	Urin
	213 [b])	1020 [b])	215 [b])	2760 [b])
Orthophosphat . .	194	1230	271	2600
Pyrophosphat . . .	191	1176	234	3320
Tripolyphosphat . .	199	1392	292	2460
Polyphosphat 62 . .	203	1368	233	2640
Tetrapolyphosphat .	192	1272	223	3420
Grahamsalz	184	1890	233	3040

a) Die Einzeldaten können von den Autoren angefordert werden.
b) Ohne Phosphat.

Interpretation. Die Versuche ergaben, daß in der verwendeten Menge die untersuchten Polyphosphate keinen signifikanten Einfluß auf die Kupferresorption haben.

Wir sind den Herren E. LUTZ, H. SATTLER und W. BUCH für die Mithilfe zu Dank verpflichtet.

Universitätskinderklinik, Heidelberg (*Direktor: Prof. Dr.* BAMBERGER)

KURT SCHREIER, WOLFGANG KRETZ und ROBERT YANG

Eingegangen am 28. Januar 1957

[1]) LANG, K., L. SCHACHINGER, O. KARGES, F. K. BLUMENBERG, G. ROSSMÜLLER u. J. SCHMUTTE: Biochem. Z. **327**, 118 (1955). — SCHREIER, K., u. H. G. NÖLLER: Arch. exp. Path. u. Pharmakol. **227**, 199 (1955).
[2]) MATTERN, H., u. K. SCHREIER: Z. exp. Med. **128**, 103 (1956). — MATTERN, H.: Med. Diss. Heidelberg 1957.
[3]) SCHWIETZER, C.: Biochem. Z. **328**, 35 (1956).
[4]) HUPERTZ, R., u. K. SCHREIER: Phosphatsymposium Benckiser 1956.
[5]) JACOBI, H., K. PFLEGER u. W. RUMMEL: Naturwiss. **43**, 354 (1956).

Über die Leukämiehäufigkeit bei Mäusen nach Injektion von Normalgewebsfiltraten

Die starke Steigerung der Leukämierate nach Injektion von G4-Filtraten verschiedener Mäusetransplantationstumoren bei Säuglingen unseres Agnes-Bluhm-Inzuchtstammes im Vergleich zu unbehandelten Kontrolltieren ließ es ratsam erscheinen, das Verhalten von Normalgewebsfiltraten bei gleicher Technik[1]) zu prüfen. Die Ergebnisse dieser Serien sind aus der Tabelle 1 ersichtlich.

Dazu kommen: nach Injektion normaler Mäuseembryonalfiltrate eine wahrscheinliche Leukämie und drei Fälle mit Leukämieverdacht, nach Injektion von Rattenembryonalfiltraten eine wahrscheinliche Leukämie und zwei leukämieverdächtige Fälle. In der Versuchsreihe, in der die Mäuse im Erwachsenenalter in der Regel nur einmal mit drei Tropfen einer 1%igen DMBA-Lösung in Azeton nachbehandelt wurden, leben noch 27 Tiere. Die Hauttumoren sind in der Tabelle 1 nicht angeführt. Das Versuchsziel war dabei ursprünglich, einen etwaigen Einfluß der Vorbehandlung mit Embryonalfiltrat auf die Hautkarzinogenese zu untersuchen. Im Sinne der hier zu diskutierenden Fragestellung läßt sich bisher kein deutlicher Einfluß der zusätzlichen Karzinogenbehandlung etwa in Richtung einer Förderung der Leukämiedisposition feststellen. Möglicherweise können sich die Resultate dieser Versuchsreihe jedoch noch verschieben, da die überlebenden Tiere eines Teiles dieser Serie erst etwa ein Jahr alt sind. Das auffällige Fehlen von Mammakarzinomen nach Injektion von Rattenembryonalfiltrat im Vergleich zur Mamma-Ca-Rate des AB-Stammes (bei 410 untersuchten Weibchen 55 Mamma-Ca = ~13%) wird in weiteren Ansätzen überprüft.

Tabelle 1. *Resultate nach Injektion von G 4-Filtrat*

G4-Filtrat aus normalen	Angesetzte Tierzahl	Im Mindestalter von 6 Monaten starben	Davon tot an Leukämie oder lymphoiden Sarkomen	
I Mäuseembryonen	519	♀180 ♂126	♀13 (7%)	♂11 (9%)
II Rattenembryonen	140	♀ 34 ♂ 24	♀ 1	♂ 1
III Mäuseembryonen + Tropfung [a])	210	♀ 48 ♂ 26	♀ 3	♂ 5

a) Tropfung mit 9,10-Dimethyl-1,2-Benzanthrazen.

Weitere Tumorbefunde: bei I Mamma-Ca 24, Lungentumoren 8, Kiefer-Ca 1, Uterusmyom 1, maligner Tumor Leistengegend 1. Bei II Kiefer-Ca 1. Bei III Mamma-Ca 12, Adeno-Ca 1 (Speicheldrüse), Sarkom s.c. 1.

Aus den vorliegenden Versuchsergebnissen darf im Vergleich zu einer Leukämierate von etwa 2% bei mehr als 800 untersuchten alten Zuchtweibchen eine mäßige Steigerung der Leukämiehäufigkeit nach Injektion von Mäuseembryonalfiltraten abgeleitet werden. Sie erreicht jedoch nicht annähernd den Prozentsatz an lymphoiden Tumoren z. B. nach Injektion von Ehrlich-Ca-Filtraten, die bis zu 83% Neoplasmen dieses Typs ergaben. Außerdem ist die Latenzzeit mit durchschnittlich 16,4 Monaten gegenüber den Tumorfiltratserien, in denen die Hauptmenge der Leukämien nach etwa 8 bis 10 Monaten auftrat, deutlich verlängert. F. FEY, A. GRAFFI und H. BIELKA[2]) fanden in ähnlichen Versuchen mit Filtraten aus Normalgeweben und heterologen Tumoren *keine* höhere Leukämiequote gegenüber den Kontrollen. Die Ursache dürfte in der kürzeren Versuchszeit (6 bis 7 Monate nach Versuchsbeginn) und in der von uns allgemein verwendeten höheren Dosierung (0,4 bis 0,5 ml) zu suchen sein.

Der Versuch einer Deutung der bisherigen Versuche zu dem Thema „Virus und Leukämie bei Tier und Mensch" wird in einer zusammenfassenden Darstellung gegeben[3]). Ein übertragbares Virus dürfte danach für die Leukämiegenese wahrscheinlich sein.

Institut für Medizin und Biologie der Deutschen Akademie der Wissenschaften, Berlin-Buch (*Direktor: Prof. Dr. Dr.* K. LOHMANN)

FERD. SCHMIDT und K. LOHMANN

Eingegangen am 16. Februar 1957

[1]) SCHMIDT, F.: Z. Krebsforsch. **60**, 445 (1955).
[2]) FEY, F., A. GRAFFI u. H. BIELKA: Naturwiss. **42**, 421 (1955).
[3]) SCHMIDT, F.: Z. inn. Med. (im Druck).

Corynebacterium valdivianum n. sp., eine in Südchile außerordentlich verbreitete Art

In Blutabstrichen von Rindern und Schafen beobachten wir regelmäßig sowohl auf Erythrozyten wie frei im Gesichtsfelde runde Körnchen von 0,3 bis 2 µ ⌀, die sich mit Giemsa vollständig oder nur in einem schmalen Saume intensiv violett färben. Gelegentlich treten die gleichen Formen einzeln oder in lockeren Haufen (3 bis über 10 Exemplare) innerhalb der Leukozyten, vor allem in Lymphozyten und Monozyten auf (Fig. 1). Im Knochenmarkabstrich erscheinen mit Giemsa die gleichen Körnchen in großer Zahl innerhalb und außerhalb der Zellen.

Aus Blut und Knochenmark lassen sich in Bouillon und auf Glukoseagar regelmäßig Kulturen isolieren, die ein bisher nicht

bekanntes Bakterium zeigen, das einen dem Corynebacterium tumescens JENSEN[1]), welches aus australischen Böden beschrieben wurde, ähnlichen Entwicklungszyklus aufweist und morphologisch sehr veränderlich ist: Stäbchen ohne Eigenbewegung, 0,7 bis 1,5 μ × 1 bis 3 μ, selten bis 30 μ; Coccenformen 0,3 bis 3 μ ⌀; junge Kulturen grampositiv, später mit allen Übergängen gramnegativ mit „Schattenzellbildern". Mit Abnahme der Färbbarkeit des Protoplasmas differenzieren sich durch stärkere Färbung die Zellperipherie und dort liegende kleine Granula. Die Zellen bilden Kapseln oder sind in einen gallertigen bis zähflüssigen Schleim eingehüllt (Fig. 2), ohne Sporenbildung, nicht säurefest.

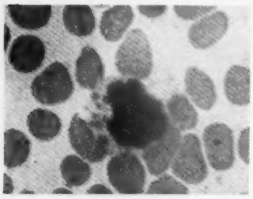


Fig. 1. Corynebacterium vald., einzeln und in lockeren Haufen in Leukozyten

Auf Agar entwickeln sich kreisrunde, schwach erhabene, anfangs farblose Kolonien, die später gelblich werden, bis höchstens 1 cm ⌀ erreichen, eine feinhöckerige bis warzige Oberfläche zeigen und dann opak erscheinen. Konsistenz schleimig bis knorpelig; im Abstrich lockere bis dichte zoogloea-artige Anordnungen der Einzelzellen. — In Bouillon entsteht eine leichte Trübung mit Oberflächenhaut und anfänglich farblosem, später gelblichem Ringe. Nach 4 bis 5 Tagen scheiden sich aus der Haut kleine Schollen ab, die zu Boden sinken und ein gelbliches Sediment bilden. Bei Stichkultur in Gelatine erfolgt Anfangsentwicklung im ganzen Stichkanal. Nach 7 bis 10 Tagen tritt trichterförmige Verflüssigung ein. In Lackmusmilch bildet sich eine

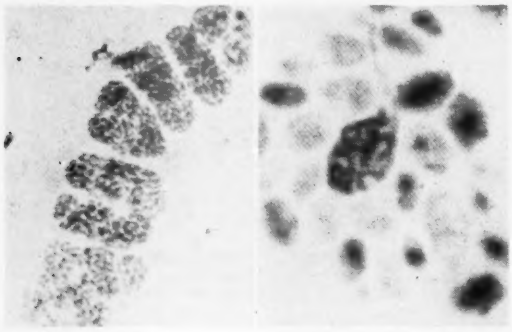


Fig. 2 Fig. 3

Fig. 2 u. 3. Corynebacterium vald. Zu 2 s. Text. 3 Entwicklung intrazellulär in Wildhefen

dünn schleimige Oberschicht bei allmählicher Entfärbung des Lackmus; nach 2 bis 3 Wochen tritt Koagulation mit fortschreitender Peptonisierung ein. Indol und Schwefelwasserstoff werden nicht erzeugt; Nitratreduktion, Katalasereaktion und Methylrotprobe positiv. Aus Glukose, Saccharose, Maltose, Mannit und Trealose wird Säure frei; Stärke wird hydrolysiert; Laktose, Dulzit und Sorbit werden nicht fermentiert.

Die somit charakterisierte und von anderen unterschiedene Art wird als Corynebacterium valdivianum bezeichnet und ist systematisch wahrscheinlich als ein Bindeglied zwischen den Gattungen Corynebacterium und Listeria aufzufassen.

Die hier beschriebene Art ist um Valdivia, aber wahrscheinlich auch im übrigen Chile sehr verbreitet. Sie tritt nach über 100 Untersuchungen an Rindern mit Sicherheit in 50% der Tiere auf, besonders stark in abgemagerten, an Durchfällen leidenden (Schlachthauskontrollen). Sie wurde ferner bei Schafen, Ziegen, Kaninchen und bei Wildtieren (Fuchs, Hase u. a.) festgestellt. Typische Kulturen konnten auch von Menschen, vor allem bei Anämien und Darmstörungen, isoliert werden. Charakteristische Kulturen können ferner aus warzenähnlichen Hautaffektionen bei Rindern gewonnen werden. Bei allen stärkeren Infektionen an Tier und Mensch wurden typische Agglutinationsreaktionen erzielt. Nähere pathologisch-anatomische Einzelheiten können derzeit noch nicht mitgeteilt werden. Sehr wahrscheinlich beziehen sich umfangreiche klinische und pathologische Beobachtungen, die von Dr. P. v. GERZANITS (Putaendo, Chile) seit einigen Jahren beim Menschen gesammelt wurden, auf den gleichen, von ihm noch nicht definierten Erreger. Es konnte ferner einwandfrei festgestellt werden, daß sich unsere Art intrazellulär in Wildhefen entwickelt (Fig. 3). Außerdem wurde sie aus den Sproßverdickungen von Hypochoeris sp. isoliert. Die außergewöhnlich weite Verbreitung des C. valdivianum auch bei Wildtieren läßt vermuten, daß die auffallende Armut der chilenischen Säugerfauna[2]) hiermit wenigstens teilweise zusammenhängt.

Instituto de Microbiología de la Universidad Austral de Chile, Valdivia

J. GRINBERGS

Eingegangen am 5. Februar 1957

[1]) Bergeys Manual of Det. Bact. 1948, S. 397.
[2]) SCHWABE, G. H.: Studium generale — 9, 378 (1956).

Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Verteilung feulgenpositiver Substanz in Proteus vulgaris

Dünnschnitte durch *Proteus vulgaris*, der in flüssigem organischem Nährsubstrat kultiviert wurde, zeigen keine distinkten „Kernvakuolen", sondern eine regellose Verteilung elektronendichter Fäden im Bakterienplasma (Fig. 1). Fadenstärke 140 ± 7 Å; angegeben ist der einfache mittlere Fehler des Mittelwerts bei $n = 20$. Die Fäden sind durchweg von einem mehr oder weniger schmalen, hellen Saum umgeben, welcher etwa die gleiche Elektronendichte besitzt wie das Einbettungsmittel außerhalb des Bakteriums. Diese Dichte entspricht

Fig. 1. Dünnschnitt durch *Proteus vulgaris*. Diffuse (= submikroskopische) Verteilung der feulgenpositiven Substanz. Vergr. 34 500mal

jener der unten beschriebenen „Kernvakuole". Lichtmikroskopische Feulgen-Färbungen von Proteus-Flüssigkeitskulturen ergeben, der regellosen submikroskopischen Verteilung entsprechend, eine gleichmäßig diffuse positive Reaktion des Bakterienplasmas, wie sie schon von PIETSCHMANN und RIPPEL[1]) u. a. für Bakterien angegeben wurde.

In Längsschnitten durch *Proteus vulgaris*, der auf Pepton-Fleischextrakt-Agar gewachsen ist, finden sich „Kernvakuolen" (im Sinne des Wortes) und darin elektronendichte, mehr oder weniger zusammengeballte Fäden (Durchmesser des Einzelfadens 150 ± 7 Å; $n = 15$). Sie wurden bereits von PIEKARSKI und GIESBRECHT[2]), KELLENBERGER und RYTER[3]), TOMLIN und MAY[4]) u. a. beschrieben. Lichtmikroskopische Untersuchungen zeigen entsprechende feulgenpositive Bereiche, die scharf vom übrigen Bakterienplasma abgesetzt sind.

Es wird angenommen, daß die verschiedenartige Ausbildung der feulgenpositiven Zonen von den osmotischen Verhältnissen im Nährsubstrat abhängig ist [s. auch BIRCH-ANDERSEN und MURRAY[5])] und daß daher die von PIEKARSKI u. a. beobachteten „Kernvakuolen" einen Sonderfall darstellen.

In synthetischem, asparaginhaltigem Nährsubstrat beträgt die Fadendicke 220 ± 8 Å ($n = 15$). Das sind, da die oben angegebenen beiden Fadenarten zu einem Kollektiv gehören, $150 \times \sqrt{2} \approx 220$ Å, was bedeutet, daß in Nährsubstrat von definierter Zusammensetzung ein Faden von doppelter Querschnittsfläche vorliegt. Die Verteilung dieser Fäden im Bakterienplasma ist dieselbe wie in Pepton-Flüssigkeitskulturen.

Auf Bildern von Dünnschnitten durch Teilungsstadien von Proteus erkennt man spindelähnliche Strukturen. Sie verbinden die beiden hellen Tochter„vakuolen", in deren Innern jene elektronendichten Fäden liegen.

Die ausführliche Beschreibung der Versuche durch den Erstgenannten sowie Angaben über die Begeißelung von *Proteus* in Abhängigkeit von den Kulturbedingungen erscheinen später im „Archiv für Mikrobiologie".

Mikrobiologisches und Zoologisches Institut der Universität, Göttingen

H.-J. PREUSSER, FR. W. SCHLOTE und A. RIPPEL-BALDES

Eingegangen am 9. Februar 1957

[1]) PIETSCHMANN, K., u. A. RIPPEL: Arch. Mikrobiol. 3, 422 (1932).
[2]) PIEKARSKI, G., u. P. GIESBRECHT: Naturwiss. 43, 89 (1956).
[3]) KELLENBERGER, E., u. A. RYTER: Schweiz. Z. allg. Path. u. Bakt. 18, 1122 (1955).
[4]) TOMLIN, S. G., u. J. W. MAY: Austral. J. Exp. Biol. Med. Sci. 33, 249 (1955).
[5]) BIRCH-ANDERSEN, A., u. R. G. E. MURRAY: Vortrag, gehalten auf der ersten europäischen Konferenz für Elektronenmikroskopie, Stockholm 1956.

Ein einfaches Verfahren zur Darstellung der Feuchtigkeitssinnesorgane von Fliegenlarven

Bereits KEILIN[2]) fand an der Ventralseite der Thoraxsegmente von Fliegenlarven merkwürdig gestaltete Sinnesorgane. Ähnlich gebaute, sog. büschelförmige Sensillen (engl. tufted organs) wurden 1941 von WIGGLESWORTH[3]) auch auf den Antennen der Kleiderlaus entdeckt. In beiden Fällen handelt es sich um Hygrorezeptoren (Organe des Feuchtigkeitssinnes), wie WIGGLESWORTH bei der Kleiderlaus und HAFEZ[1]) bei der Stubenfliege nachweisen konnte.

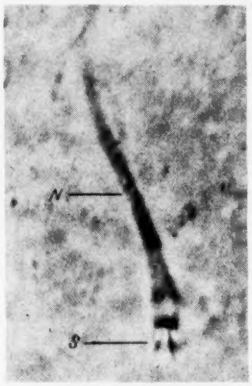


Fig. 1. Feuchtigkeitssinnesorgan einer Stubenfliegenlarve

Man kann nun diese interessanten Organe auf eine sehr einfache Weise sichtbar machen, indem man die Fliegenlarven in heißem Wasser abtötet und dann in Chloralphenol überträgt. Chloralphenol ist eine gesättigte Lösung von kristallinem Chloralhydrat in Phenolum liquefactum (1 Teil Wasser + 10 Teile Phenol). In diesem Medium werden die Larven nach einiger Zeit vollkommen durchsichtig, behalten aber ihre Form und Konsistenz wie im Alkohol; es ändert sich also nur der Brechungsindex. Die glasklaren Tiere bringt man in einem Blockschälchen oder auf einem Objektträger in Seitenlage und untersucht sie mit Hilfe eines Phasenkontrastmikroskops. Am besten eignen sich jüngere Larven, da bei diesen infolge der geringeren Größe das Aufsuchen der Sinnesorgane sehr viel einfacher ist.

Auf der Fig. 1 erkennt man 2 Sinneshärchen (*S*), ein drittes liegt in einer anderen Ebene; diese kleinen Härchen ragen über die Körperoberfläche. Der zugehörige Nervenstrang (*N*) läßt sich im Präparat erheblich weiter verfolgen als auf der photographischen Aufnahme.

Im allgemeinen sind Nervenfärbungen, vor allem bei Insekten, nicht ganz einfach. Um so erstaunlicher ist es, daß in diesem Falle ohne jede Färbung Strukturen sichtbar werden, deren Darstellung an sich sehr mühevoll ist.

Bundesgesundheitsamt, Max v. Pettenkofer-Institut, Berlin-Dahlem

WERNER PETERS

Eingegangen am 6. Februar 1957

[1]) HAFEZ: Parasitology 40, 215 (1950).
[2]) KEILIN, D.: Bull. sci. Fr. Belg. 49, 15 (1915).
[3]) WIGGLESWORTH, V. B.: Parasitology 33, 67 (1941).

Über die Struktur der Eihüllen bei einigen Knochenfischen

Die Hüllbildungen der Knochenfischeier entstehen innerhalb der Oozytenmembran auf Kosten der Rindenbezirke der Oozyte. Diese Corticalschicht wird zumindest bei abgeschlossener Eireife der Membran von innen fest angedrückt und hebt sich mit dieser nach vollzogener Besamung ab[1]).

Lange haarartige Fortsätze an den Eiern von *Melanotaenia maccullochi* waren Ursache, daß die Strukturen der Eimembran näher untersucht wurden. Die Fortsätze entsprechen etwa den bei *Cypsilurus* beschriebenen[2]), entspringen jedoch nicht an mehreren Punkten, sondern schopfartig an einer Stelle. Die ersten Anlagen dieser Auswüchse (Fig. 1a) werden als knopfförmige Vorstülpungen der primären Oozytenmembran unmittelbar vor der Ausbildung der ersten Rindenvakuolen sichtbar (Oozytenstadium II) und wachsen, zwischen Eioberfläche und Follikel vordringend (Fig. 1b), so stark in die Länge, daß die ganze Oozyte schließlich wollknäuelartig umhüllt ist. Erst

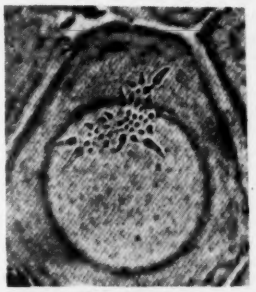


Fig. 1a u. b. Oozyten (Stadium II) von *Melanotaenia maccullochi (Atherinidae)*. a Erste Anlage der Fortsätze; b Ausbreitung der Fortsätze über das Ei

Fig. 1a

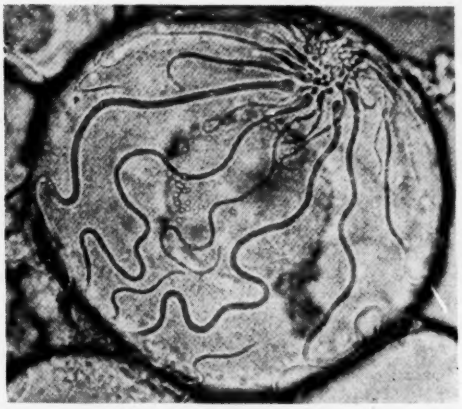


Fig. 1b

nach der Anlage des Schopfes bildet sich die Corticalschicht. Die großen Fortsätze sind aus zahlreichen sehr feinen Einzelfäden zusammengesetzt.

Bei einem südamerikanischen Zahnkarpfen *(Pterolebias longipinnis)* konnte SIEGEL[3]) einen gleichmäßigen, lockeren Besatz von sehr feinen Fortsätzen feststellen, die gleichfalls als dicke Büschel mit den Rindenvakuolen entstehen und erst durch das weitere Wachstum der Oozyte isoliert werden. Ähnliche Strukturen ließen sich auch bei Characiniden-Eiern beobachten.

Diese allem Anschein nach bei Knochenfischen weit verbreiteten Differenzierungen der primären Oozytenmembran erhalten im freien Wasser hohe Klebefähigkeit und dienen in erster Linie zur Anheftung des Eies an Wasserpflanzen bzw. zur Verklebung mit den umliegenden Teilchen des Bodengrundes. Der Schopf aus dicken, zusammengesetzten Fortsätzen scheint ein Spezialfall des einheitlichen Besatzes zu sein. Die Differenzierung der Oozytenmembran noch vor der Ausbildung der frühzeitig entstehenden Corticalschicht deutet darauf hin, daß letztere morphologisch und physiologisch von Anfang an eine metaplasmatische Eiumhüllung darstellt, die die Membran von der Oozyte trennt und so deren Differenzierung zu einem späteren Zeitpunkt ausschaltet.

Zoologisches Institut der Universität, Jena

GÜNTHER STERBA

Eingegangen am 14. Januar 1957

[1]) SPEK, J.: Protoplasma 9, 497 (1933). — ARNDT, E. A.: Protoplasma 47, 1 (1956).
[2]) RAMASWAMI NAYUDU, M.: Bull. Madras Fish. 15, 109 (1922).
[3]) SIEGEL, G.: Diplomarbeit (unveröffentlicht).

Besprechungen

Borgnis, Fritz H., und Charles H. Papas: Randwertprobleme der Mikrowellenphysik. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1955. XV, 266 S. 75 Fig. Gr.-8°. Gzl. DM 48.—.

Elektrische und magnetische Felder in der Umgebung von Antennen und offenen Wellenleitern und im Innern von Hohlleitern und Resonatoren können aus den Maxwellschen Gleichungen nur in wenigen Fällen streng berechnet werden. Die Felder müssen Lösungen der Wellengleichung sein und außerdem die Grenzbedingungen erfüllen. Dies ist leider nur bei wenigen sehr einfachen Formen der Leiter oder Nichtleiter der Fall. Die klassischen Lösungen der rein transversalen Felder bzw. der H-Felder und E-Felder sind fast beschränkt auf zylindrische, konische oder kugelsymmetrische Felder, auf Leiter mit kreiszylindrischem, rechteckigem, elliptischem oder parabolischem Querschnitt.

Alle Methoden, die geeignet sind, über die wenigen, oft schon aus der Zeit der Jahrhundertwende bekannten klassischen Lösungen hinauszuführen, werden daher dankbar begrüßt werden. Es ist den Verf. gelungen, in ihrem Buche in die Lösungsmethoden einzuführen, welche das gesuchte Ergebnis in Integralform darstellen. Die Methode geht auf Arbeiten von JULIAN SCHWINGER im Jahre 1944 zurück [in Deutschland hat K. FRÄNZ etwa zu gleicher Zeit die Anwendung von Minimalprinzipien zur Berechnung von Eigenfrequenzen in Hohlleitern vorgeschlagen, s. Funk und Ton, 1 (1947), S. 46—52]. Der Vorteil der Integraldarstellung liegt darin, daß der Wert des Integrals sehr gut angenähert wird, wenn man an Stelle der unter dem Integral einzusetzenden genauen unbekannten Funktion eine physikalisch plausible, mathematisch einfache Funktion einsetzt. Die Methode wird als „Variationsprinzip" bzw. als „Methode der stationären Darstellung" bezeichnet.

Das Buch bringt dem mathematisch-physikalisch interessierten Leser eine gute Einführung in dieses Lösungsprinzip und erläutert es an folgenden Beispielen: 1. Beugung einer ebenen Welle am metallischen Kreiszylinder für die beiden Fälle, daß die elektrische Feldstärke entweder parallel oder senkrecht zur Achse des Zylinders gerichtet ist. 2. Beugung einer ebenen Welle an einem unendlich langen metallischen Streifen und am unendlich langen Spalt. 3. Abstrahlung einer am Ende offenen koaxialen Leitung. 4. Reflexion am Übergang zwischen koaxialen Leitungen verschiedenen Querschnitts. 5. Kapazitive Blende im rechteckigen Hohlleiter. 6. Induktive Blende im rechteckigen Hohlleiter. 7. Grenzfrequenz von homogenen Hohlleitern mit beliebiger Querschnittsform. 8. Eigenfrequenz von Hohlraumresonatoren.

Schließlich sind Antennenprobleme behandelt; vor allem die Eingangsimpedanz der Weitwinkel-Konusantenne und der zylindrischen Antenne sind interessante Beispiele der Schwingerschen Methode der Lösung von Integralgleichungen. (Es sei bemerkt, daß weder die Weitwinkelkonusantenne noch die schlanke zylindrische Antenne optimale Antennenformen im Sinne von Breitbandantennen darstellen. Es wäre zu wünschen, daß die beschriebenen Methoden auf die von der technischen Praxis bevorzugten Antennenformen angewandt würden).

Das vorzügliche Buch von BORGNIS und PAPAS ist allen an Wellenproblemen interessierten Physikern und Elektroingenieuren wärmstens zu empfehlen.

O. ZINKE (Darmstadt)

Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen aus Physik, Chemie, Astronomie, Geophysik und Technik. 6. Aufl. Hrsg. v. J. BARTELS, P. TEN BRUGGENCATE, K. H. HELLWEGE, KL. SCHÄFER u. E. SCHMIDT. Bd. IV: Technik. 1. Teil: Stoffwerte und mechanisches Verhalten von Nichtmetallen. Hrsg. v. ERNST SCHMIDT. Berlin-Göttingen-Heidelberg: Springer 1955. XVI, 881 S. u. 1104 Abb. 4°. In Moleskin DM 288.—.

Es ist sehr zu begrüßen, daß der „Landolt-Börnstein" jetzt auch als Nachschlagewerk auf dem Gebiet der Technik erscheint. Der vorliegende 1. Teilband des IV. Bandes (Technik) enthält in einem allgemeinen Abschnitt ein umfangreiches Verzeichnis der wichtigsten wissenschaftlichen und technischen Zeitschriften, weiterhin als Einführung für den Techniker, für den insbesondere dieses Nachschlagewerk bestimmt ist, einen Überblick über die physikalisch-technischen Größen, Maßsysteme und Einheiten mit zahlreichen Umrechnungstafeln und Tabellen.

Im Hauptteil werden Aufbau, Zusammensetzung und Eigenschaften von Nichtmetallen behandelt, wobei nicht nur stoffliche, sondern auch gestaltbedingte Kennwerte aufgeführt werden. Eine Fülle von Tabellen und Diagrammen über die verschiedensten physikalischen, chemischen und technologischen Kenngrößen der nichtmetallischen Werkstoffe sind hier zusammengetragen und bilden nicht nur für den Wissenschaftler, sondern auch für den Ingenieur der Praxis und den Technologen wertvolle Unterlagen. Im einzelnen werden die verschiedenartigen Baustoffe wie Steine, Ziegel, Mörtel, Beton, Bitumen, sowie Hölzer und Papier behandelt. Weiter wird auf die Faserstoffe sowie auf keramische Stoffe, Gläser, Kunststoffe und Kautschuk ausführlich eingegangen. Das Kapitel Kunststoffe erscheint in Anbetracht der großen Zahl der zur Verfügung stehenden Erzeugnisse auf diesem Gebiet in seinem Umfang gegenüber den anderen Kapiteln über nichtmetallische Werkstoffe etwas kürzer gehalten. Sehr von Nutzen sind die umfangreichen Literaturangaben, die sich für das entsprechende Fachgebiet am Ende jedes Kapitels finden.

In dem vorliegenden Band ist weiter ein Kapitel über Reibung, Viskosität, Verhalten von flüssigen und gasförmigen Stoffen und Akustik enthalten, das insbesondere auf dem Gebiet der Chemie-Ingenieurtechnik, Luftfahrttechnik und Bautechnik von großem Nutzen sein wird. Mit Erläuterungen und Formeln sowie einer Menge von Zahlenmaterial und graphischen Darstellungen werden die einzelnen Gebiete nach der jeweils gebräuchlichen Darstellungsmethode behandelt und durch umfangreiche Literaturangaben ergänzt.

Trotz der Schwierigkeit der Gliederung, die sich naturgemäß bei solch verschiedenartigen Gebieten ergibt, findet man sich in dem Nachschlagewerk schnell zurecht, wobei auch das Einfinden in die einzelnen Abschnitte durch einführende Texte sehr erleichtert wird, die die benutzten Begriffe, Definitionen und Maßeinheiten aufführen und erläutern.

Da der Techniker sich immer mehr mit der sinnvollen und rationellen Anwendung der Werkstoffe unter Berücksichtigung ihrer besonderen Eigenschaften befassen muß, ist der „Technische Landolt-Börnstein" sehr zu begrüßen. Er wird als ein Bindeglied zwischen technischer und physikalischer Literatur einen wichtigen Platz einnehmen. E. SIEBEL (Stuttgart)

Yourgrau, Wolfgang, und Stanley Mandelstam: Variational Principles in Dynamics and Quantum Theory. 2. revidierte Aufl. London: Sir Isaac Pitman & Sons Ltd. 1956. 151 S. $27^1/_2$ Shilling.

Dies dem Gedächtnis PLANCKS gewidmete Buch ist entsprungen den Anregungen, welche der eine der Verf. bei seinem Studium in Berlin aus den Vorlesungen, später aus den Schriften PLANCKS empfangen hat. Dieser legte bekanntlich gleich H. v. HELMHOLTZ den Variationsprinzipien der Physik, insbesondere dem Prinzip der kleinsten Wirkung, besondere Bedeutung für alle Gebiete der Physik (mit Ausnahme der Thermodynamik irreversibler Vorgänge) bei. Das Buch bespricht daher nacheinander FERMATS Prinzip des kürzesten Lichtweges, die Variationsprinzipe von EULER, MAUPERTUIS und LAGRANGE, das Hamiltonsche Prinzip und die Hamilton-Jakobische Differentialgleichung, die Berührungstransformationen und HAMILTONS kanonische Gleichungen, nicht ohne zuvor in einer Einleitung den Grundgedanken eines Minimalprinzips bis zu seinen Anfängen bei den griechischen Philosophen zurückverfolgt zu haben. Bis dahin handelt es sich also um eine Darstellung der klassischen Dynamik unter dem besonderen Aspekt der Variationsprinzipe. In §8 jedoch wird die Elektrodynamik des leeren Raumes dem Hamiltonschen Schema eingeordnet. Zwei weitere Paragraphen behandeln dessen Rolle in den verschiedenen Formen der Quantentheorie. Der Schluß setzt sich mit der Bedeutung dieser Prinzipe für die moderne Naturphilosophie auseinander. Es tauchen die Namen von E. MACH, H. POINCARÉ, A. N. WHITEHEAD, L. VON BERTALANFFY und MAX BORN auf, die Frage einer Teleologie in der Natur und die Bedeutung der Ganzzahligkeit in der Quantentheorie werden berührt. Auf diese Art gibt das Buch dem Leser eine wohl einzigartige Zusammenstellung der verschiedenen Denkungsarten über die Variationsprinzipe in der Naturwissenschaft, welche durch umfassende Literaturangaben noch wertvoller gemacht ist. Sie fällt um so objektiver aus, als die Autoren eine eigene Stellungsnahme höchstens andeuten.

M. v. LAUE (Berlin-Dahlem)

Herausgeber und verantwortlicher Redakteur: Professor Dr. Ernst Lamla, Göttingen. — Verantwortlich für den Anzeigenteil: Günter Holtz, Berlin W 35 Reichpietschufer 20. — Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg. — Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz AG., Würzburg. — Printed in Germany

Handbuch der allgemeinen Pathologie

Herausgegeben von Professor Dr. **F. Büchner**, Freiburg i. Br., Professor Dr. **E. Letterer**, Tübingen, und Professor Dr. **F. Roulet**, Basel. In 12 Bänden.

Im Frühjahr wird erscheinen:

Vierter Band: **Der Stoffwechsel**

Zweiter Teil: **Der Stoffwechsel II.**
Redigiert von **E. Letterer.** Mit 182 Abbildungen. Etwa 825 Seiten Gr.-8°. 1957.
Vorbestellpreis gültig bis zum Erscheinen Ganzleinen DM 158.40
Endgültiger Ladenpreis nach Erscheinen Ganzleinen DM 198.—

Bei Verpflichtung zur Abnahme des gesamten Handbuches gilt der Vorbestellpreis auch nach Erscheinen des Bandes weiter als Subskriptionspreis, jedoch ist jeder Band und Bandteil zum Ladenpreis einzeln käuflich.

Inhaltsübersicht: **Biologische Chemie und Stoffwechsel der Schwermetalle.** Von L. Heilmeyer und L. Weissbecker, Freiburg i. Br. — **Die Pathologie des Stoffwechsels der Schwermetalle.** Von W. Volland und W. Pribilla, Köln. — **Biochemie und Physiologie des Hämoglobins und verwandter Stoffe.** Von W. Stich, München. — **Pathologie des Hämoglobins und verwandter Stoffe.** Von K. Plötner und K. Betke, Freiburg i. Br. — **Die Biochemie des intermediären Stoffwechsels.** Von K. Lang, Mainz. — **Allgemeine Physiologie der Zell- und Gewebsatmung.** Von E. Opitz † und D. Lübbers, Philadelphia (USA). — **Physiologie und pathologische Physiologie der inneren Atmung.** Von J. Pichotka, Freiburg i. Br. — **Die Pathologie der cellulären und geweblichen Oxydationen. Die Hypoxydosen.** Von F. Büchner, Freiburg i. Br. — **Elektrobiologie des Stoffwechsels.** Von H. Schäfer, Heidelberg. — Namen- und Sachverzeichnis.

Bisher erschienen:

Zweiter Band: **Die Zelle.** (In 2 Teilen.)

Erster Teil: **Das Cytoplasma.**
Redigiert von **F. Büchner.** Mit 246 Abbildungen. XII, 735 Seiten Gr.-8°. 1955. Ganzleinen DM 174.—
Bei Verpflichtung zur Abnahme des gesamten Handbuches Subskriptionspreis Ganzleinen DM 139.—

Sechster Band: **Entwicklung, Wachstum, Geschwülste.** (In 3 Teilen.)

Erster Teil: **Entwicklung, Wachstum I.**
Redigiert von **F. Büchner.** Mit 233 Abbildungen. X, 542 Seiten Gr.-8°. 1955. Ganzleinen DM 122.50
Bei Verpflichtung zur Abnahme des gesamten Handbuches Subskriptionspreis Ganzleinen DM 98.—

Dritter Teil: **Geschwülste.**
Redigiert von **F. Büchner.** Mit 98 Abbildungen. VII, 493 Seiten Gr.-8°. 1956. Ganzleinen DM 120.—
Bei Verpflichtung zur Abnahme des gesamten Handbuches Subskriptionspreis Ganzleinen DM 96.—

Siebenter Band: **Reaktionen.** (In 2 Teilen.)

Erster Teil: **Entzündung und Immunität.**
Redigiert von **F. Roulet.** Mit 164 Abbildungen. X, 742 Seiten Gr.-8°. 1956. Ganzleinen DM 188.—
Bei Verpflichtung zur Abnahme des gesamten Handbuches Subskriptionspreis Ganzleinen DM 150.40

In Vorbereitung befinden sich folgende Bände:

I. Band: **Prolegomena einer allgemeinen Pathologie.** — II. Band: **Die Zelle:** 2. Teil. Der Zellkern. — III. Band: **Zwischensubstanzen, Gewebe, Organe:** 1. Teil: Zwischensubstanzen und Gewebe. 2. Teil. Die Organe. Die Organstruktur als Grundlage der Organleistung und Organerkrankung. — IV. Band: **Der Stoffwechsel:** 1. Teil. Der Stoffwechsel I. — V. Band: **Hilfsmechanismen des Stoffwechsels.** — VI. Band: **Entwicklung, Wachstum, Geschwülste:** 2. Teil. Entwicklung. Wachstum II. — VII. Band: **Reaktionen:** 2. Teil, Allergie. — VIII. Band: **Regulationen.** 1. Teil. Inkretorische Regulationen. 2. Teil. Neurovegetative Regulationen. — IX. Band: **Erbgefüge.** — X. Band: **Umwelt I.** — XI. Band: **Umwelt II:** 1. Teil. Ernährung. 2. Teil. Belebte Umweltfaktoren. — XII. Band: **Leib und Seele.**

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG

Soeben erschien:

Neuere Anschauungen der organischen Chemie

Organische Chemie für Fortgeschrittene

Von **Eugen Müller,**
o. Professor und Direktor des Instituts für angewandte Chemie der Universität Tübingen

Zweite, gänzlich umgearbeitete Auflage

Mit 71 Textabbildungen. XII, 550 Seiten Gr.-8°. 1957
Ganzleinen DM 59.60

Inhaltsübersicht: **Einfache Atombindung.** I. Einleitung. — II. Kohlenstoff-Wasserstoff-Bindung. — III. Kohlenstoff-Kohlenstoff-Bindung. — IV. Kohlenstoff-Halogen-Bindung. — V. Die Kohlenstoff-Sauerstoff- und Kohlenstoff-Schwefel-Bindung. — VI. Die Kohlenstoff-Stickstoff-Bindung. — VII. Ammonium- und Sulfonium-Verbindungen. — VIII. Semipolare Bindung. — **Die doppelte Atombindung.** I. Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung. — II. Kohlenstoff-Sauerstoff-Doppelbindung. — III. Aromatische Bindungssysteme. — IV. Stickstoff-Stickstoff-Doppelbindung. — V. Einige Umlagerungsreaktionen. — VI. Hyperkonjugation. — **Dreifache Atombindung.** I. Kohlenstoff-Kohlenstoff-Dreifachbindung. — II. Kohlenstoff-Stickstoff-Dreifachbindung. — III. Stickstoff-Stickstoff-Dreifachbindung. — IV. „Zweiwertige" Kohlenstoffverbindungen. — V. Atomradien nach L. Pauling (Tabellen). **Namen- und Sachverzeichnis.**

Die im Jahre 1940 erschienenen „Neuere Anschauungen der organischen Chemie" brachten erstmalig in der deutschen einschlägigen Fachliteratur eine konsequente Betrachtung der organischen Chemie unter dem Gesichtspunkt der Elektronentheorie der chemischen Bindung. Das Buch war ein voller Erfolg. Die Kriegs- und Nachkriegsverhältnisse verhinderten das geplante Erscheinen eines Neudrucks und erst recht die Abfassung und Herausgabe einer Neuauflage. Erst jetzt, 16 Jahre nach dem Erscheinen der ersten Auflage, liegt eine völlig neubearbeitete 2. Auflage vor. Das in den vergangenen Jahren gewaltig angewachsene experimentelle und theoretische Material bedurfte einer eingehenden und kritischen Sichtung. Zugleich schien es erforderlich, in der Gesamtschau der organischen Chemie unter dem allgemein anerkannten Gesichtspunkt der Elektronentheorie und der Quantentheorie der chemischen Bindung, auch die wichtigsten neuen Ergebnisse der makromolekularen Chemie zu berücksichtigen. Zur Vermeidung einer erheblichen Umfangsvergrößerung des Werkes wurde das in der ersten Auflage vorhandene Kapitel „Konstitution und Farbe" gestrichen, jedoch ist im übrigen die bewährte Einteilung des Buches beibehalten worden. Nach einer kurzen theoretischen Übersicht über die quantenmechanische Theorie des Atom- und Molekülbaues werden die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Einfachbindung, die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Doppelbindung und die Kohlenstoff-Kohlenstoff-Dreifachbindung, auch unter Heranziehung aller anderen wichtigen Elemente, abgehandelt. Dabei wurde besonderer Wert auf die Herausarbeitung der für das reaktive Verhalten organischer Substanzen maßgebenden Gesetzmäßigkeiten gelegt und zwar unter Anwendung aller geeigneten modernen wie auch der bewährten klassischen Methoden.

SPRINGER-VERLAG / BERLIN · GÖTTINGEN · HEIDELBERG